



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

ARTO PELKKIKANGAS

ENERGIAKORJAUSTOIMENPITEET JULKISISSA RAKENNUK-
SISSA

Diplomityö

Tarkastaja: professori Timo Kalema
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Automaatio-, kone- ja materiaalitek-
niikan tiedekuntaneuvoston kokouk-
sessa 7. maaliskuu 2012

TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Konetekniikan koulutusohjelma

PELKKIKANGAS, ARTO: Energiakorjaustoimenpiteet julkisissa rakennuksissa

Diplomityö, 67 sivua

Elokuu 2012

Pääaine: Talotekniikka

Tarkastaja: professori Timo Kalema

Avainsanat: energiakorjaus, julkiset rakennukset, takaisinmaksuaika

Suomalaisessa rakennuskannassa piilee merkittävä energiansäästöpotentiaali. Rakennustilavuudesta noin 15 % kuuluu julkiselle sektorille. Siihen lukeutuu oppilaitoksia, terveydenhoitotiloja, virastoja, kokoontumistiloja ja asuntoja. Polttoaineiden ja energianhintojen kasvun seurauksena, energiakorjauksiin kiinnitetään entistä enemmän huomiota käyttökustannussäästöjen toivossa. Julkisen sektorin kiinteistöille tehdyillä energiakatselmuksilla on löydetty säästöpotentiaalia 15 % lämpöenergialle, 7 % sähköenergialle ja 0,7 milj.m³ vedelle.

Työn kirjallisuuskatsauksessa tutustutaan Suomessa ja Euroopassa tehtyjen energiakorjausprojektien tuloksiin. Tutkimuksia on tehty jonkin verran ja lähes kaikissa projekteissa saavutettiin energiansäästöä. Uusien ja innovatiivisten menetelmien kohdalla investoinnin kannattavuus jäi usein heikoksi. Perinteisemmät menetelmät olivat kannattavimpia. Energiankulutuksen pienenemistä ei aina saavutettu peruskorjauksen yhteydessä. Siihen vaikuttivat kiinteistön käyttöasteen kasvu ja energiantensiivisten tilojen lisäys. Painovoimaisen ilmanvaihdon muutos koneelliseen ilmanvaihtoon kasvatti ilmamääriä ja energiankulutusta useita prosentteja. Energiakorjaukset painottuivat rakennusvaipan lisäeristykseen, valaistukseen, lämmön talteenoton lisäykseen, ilmanvaihdon ohjaukseen ja lämmityksen säätöjärjestelmään. Olosuhteiden parantuminen ja takaisinmaksuaika ovat perusteita, joilla voidaan perustella energiakorjaus käyttäjille.

Käytännön osuudessa tarkastellaan kahden kiinteistön energiansäästöä. Yläpohjan lämmöneristykseen ja lämpötilojen laskun vaikutusta lasketaan D5 laskentaohjeella. Tarkastelun toimenpiteillä on mahdollista saavuttaa säästöä kohtuullisilla takaisinmaksuajoilla. Sisälämpötilojen yhden asteen keskimääräisellä pudotuksella saavutettiin laskennallisesti 3,5 % säästö kohteessa. Yläpohjan lisäeristys on kannattava toimenpide. Lämmön talteenotto lisäys ilmanvaihtoon on energiasäästökohde, jolla säästetään noin 50 % ilmanvaihdon energiankulutuksesta. Ilmanvaihdon tarpeenmukainen ohjaus on energiansäästökeino, joka sopii erityisesti tiloihin, joissa käyttäjien määrä ja käyttöaste vaihtelevat runsaasti. Lämmönjaon laiteusintoja voidaan pitää myös hyvinä toimenpiteinä. Tiedot kannattavuudesta ovat suuntaa-antavia, koska energian hinnat muuttuvat jatkuvasti. Lisäksi tiedot kustannuksista ovat kappalehintaan perustuvia arvioita.

ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Information Technology

PELKKIKANGAS, ARTO: Energy renovation measures in public buildings

Master of Science Thesis, 67 pages

August 2012

Major: Building service

Examiner: Professor Timo Kalema

Keywords: retrofit, energy renovation, energy save, public buildings, payback time

There is a significant energy saving potential in the Finnish building stock. Public sector owns 15 % of the Finnish building volume. The public building stock mainly consists of educational buildings, healthcare buildings, offices, community centers and apartments. Because of the increasing fuel and energy prices, energy renovations are getting more attention in the hope of cost savings. Energy audits have been performed on the public sector buildings for over 10 years. Statistics about the audits tell that the public building sector in Finland has energy saving potential about 15 % in thermal energy consumption, 7 % in electrical energy consumption and 0,7 million m³ in water consumption.

In this thesis, the literature review introduces the results of the energy renovation projects in Finland and in other countries. The studies show that energy savings were achieved with traditional methods. The profitability in new and innovative energy renovations was often weak. More traditional methods were the most profitable. Savings in energy consumption were not always achieved in the energy renovations. Reasons for this were the increased utilization rate and added spaces which used lots of electrical energy. The change from natural to mechanical ventilation increased airflow rates and energy consumption by several per cent. Energy renovations were generally focused on increasing insulation thickness, lightning systems, heat recovery, ventilation control and heating control systems. Improvements in indoor climates and in the payback times of the investments are grounds that are used to justify energy renovations to clients.

Energy saving possibilities was investigated in two case studies. The effects of the roof insulation and decreased room temperature in energy consumption are calculated according to D5 guide. The measures indicate that it is possible to achieve mediocre payback times. As a result of decreased room temperatures, a 3,5 % energy save was achieved when room temperature was lowered by one degree. Also by adding heat recovery to mechanical ventilation system, it is possible to decrease heating energy consumption about 50 %. Ventilation control is a method to save energy when there are spaces where the number of users and utilization vary widely. Renewing the heating control systems is also a profitable energy renovation measure. Information about the payback times and costs are estimates because energy prices are constantly changing.

ALKUSANAT

Työ tehtiin Granlund Tampere Oy:ssä yrityksen energiansäästöprojektiin vuoden 2011 – 2012 välisenä aikana. Toimeksiannon perusteelta tarkastelin projektiin liittyvien kiinteistöjen energiakorjausmahdollisuuksia ja kirjallisuudesta löytyneitä tutkimuksia. Työ oli mielenkiintoinen ja opettavainen.

Haluan kiittää professori Timo Kalemaa ohjauksesta ja rakentavista kommentista. Kiitän myös Granlund Tampere Oy:tä diplomityön aiheesta ja työkavereita kommenteista, joita sain työn tekemiseen liittyen. Suuren kiitoksen tuesta ansaitsevat myös vanhemmat, siskot ja ystävät.

Tampereella 9.7.2012

Arto Pelkkikangas

SISÄLLYS

Abstract	iii
Termit ja niiden määritelmät	vii
1 Johdanto	1
1.1 Projekti	1
1.2 Tavoite	1
1.3 Energiatehokkuuden parantamisen tausta	1
1.3.1 EU:n energiatehokkuus tavoitteet	2
1.4 Energiankulutus Suomessa	2
2 Julkisen sektorin rakennukset	7
2.1 Kuntien rakennuskanta	7
2.2 Energiankulutukset	8
2.2.1 Mittaaminen ja tiedon kerääminen	8
2.2.2 Kulutustietojen vertailtavuus	9
2.2.3 Ominaiskulutus	9
2.2.4 Normitus	9
2.3 Kuntien rakennuskannan energiankulutus	10
2.3.1 Energiansäästöpotentiaali	12
2.3.2 Pohjoismaisten rakennusten energiankulutuksia	13
3 Rakennusten energiakorjaukset kirjallisuudessa	15
3.1 Opetusrakennusten energiakorjaukset	15
3.2 Julkisten rakennusten peruskorjausten energiavaikutukset	19
3.3 Brita in Pubs energiansäästöprojekti	21
3.4 Norjalaisten koulujen energiansäästö tarpeenmukaisella ohjauksella	25
3.5 Yhteenveto tutkimuksista	26
4 Tarkasteltavat kiinteistöt	28
4.1 Kohde A	28
4.2 Kohde B	29
5 Lähtötiedot	31
5.1 Kohteiden lähtötiedot	31
5.2 Laskentamenetelmät	34
5.2.1 Motiwatti laskentaohjelma	34
6 Laskentamallien tausta	35
6.1 Energiankulutuksen laskenta rakennusmääräyskokoelman ohjeella D5	35
6.1.1 Johtuminen	35
6.1.2 Ilmanvaihto	36
6.1.3 Vuotoilma	37
6.1.4 Sisäiset lämpökuormat	38
6.1.5 Käyttövesi	39
6.2 Excel-mallien tulokset	39
7 Kannattavuus	41

7.1	Takaisinmaksuaika	41
8	Energiansäästömahdollisuudet	43
8.1	Tarpeenmukainen ilmanvaihto	43
8.1.1	Ilmamäärät	43
8.1.2	Ilmanvaihdon vyöhykkeet	44
8.1.3	Ilmanvaihdon ohjaus ja säätö	44
8.1.4	Ilmanvaihdon käyttöajat	45
8.2	Lämmön talteenotto	46
8.2.1	Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	46
8.2.2	Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet	47
8.2.3	Regeneratiiviset lämmönsiirtimet	48
8.3	Sisälämpötilojen pudotus	49
8.3.1	Lämmitysverkoston tasapainoitus	50
8.3.2	Lämpötilan laskun vaikutukset	52
8.4	Yläpohjan lämmöneristys	54
9	Tulokset ja toimenpide-ehdotukset	56
9.1	Kohde A	56
9.1.1	Kiinteistön energiansäästötoimenpiteet	56
9.1.2	Kustannukset	57
9.1.3	Säästötoimenpiteiden kannattavuus	58
9.2	Kohde B	59
9.2.1	Kiinteistön energiansäästötoimenpiteet	59
9.2.2	Kustannukset	60
9.2.3	Säästötoimenpiteiden kannattavuus	60
10	Päätelmät ja yhteenveto	62
10.1	Päätelmät tutkimuksista	62
10.2	Päätelmät kohteista	63
10.3	Yhteenveto	64
	Lähteet	65

TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

ρ_i	ilman tiheys [kg/m ³]
ρ_v	veden tiheys [kg/m ³]
η_a	lämmön talteenoton vuosihyötysuhde
η_t	lämpötilasuhde
$\eta_{\text{lämpö}}$	lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste
A	rakennusosan pinta-ala [m ²]
c_{pi}	ilman ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK]
c_{pv}	veden ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK]
$H_{\text{investointi}}$	investointiin käytetty summa [€]
H_{iv}	ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö [W/K]
$H_{\text{vuotoilma}}$	vuotoilman ominaislämpöhäviö [W/K]
$H_{\text{tuotto, vuodessa}}$	investoinnista seurannut kustannusten säästö eli investoinnin nettotuotto [€/a]
i	korkokanta
K	jaksollisten suoritusten nykyarvotekijä
n_{50}	rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku [1/h]
$n_{\text{vuotoilma}}$	rakennuksen vuotoilmakerroin [1/h]
$q_{v, \text{poisto}}$	poistoilmavirta [m ³ /s]
$q_{v, \text{vuotoilma}}$	vuotoilmavirta [m ³ /s]
Q_{aur}	rakennukseen sisään tulevan auringon säteilyn lämpöenergia [kWh]
Q_{henk}	rakennukseen jäävä ihmisistä syntyvä lämpöenergia [kWh]
Q_{iv}	ilmanvaihdon lämpöhäviö [kWh]
$Q_{iv, ei LTO}$	ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus ilman lämmön talteenottoa [kWh]
$Q_{\text{johtuminen}}$	rakennuksen vaipan läpi johtuva lämpöhäviö [kWh]
Q_{lkv}	käyttöveden lämmittämiseen kuluva energia [kWh]
$Q_{lkv, \text{kuorma}}$	käyttöveden lämmityksestä rakennukseen jäävä lämpöenergia [kWh]
Q_{LTO}	ilmanvaihdon lämmön talteenotolla talteenotettu lämpöenergia [kWh]
$Q_{\text{lämmitys, kuorma}}$	tilojen lämmitysjärjestelmistä rakennukseen jäävä lämpöenergia [kWh]
$Q_{\text{lämpökuorma}}$	rakennuksen sisäisten lämmönlähteiden lämpöenergioiden summa [kWh]
$Q_{\text{sis. lämpö}}$	lämpökuormista hyödynnettävissä olevat lämpöenergiat [kWh]
$Q_{\text{säh}}$	sähkölaitteiden toiminnasta syntyvä lämpöenergia [kWh]
$Q_{\text{vuotoilma}}$	rakennuksen vaipan liitoksista vuotava lämpöenergia [kWh]

r	muuntokerroin, joka ottaa huomioon ilmanvaihtolaitoksen vuorokautisen käyntiajan
t	tarkastelujakson pituus [h]
$t_{ta, koroton}$	investoinnin koroton takaisinmaksuaika [a]
t_{ni}	korollinen takaisinmaksuaika [a]
t_d^*	ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhte [h/24h]
t_v^*	ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhte [vrk/7vrk]
T_{kv}	kylmän käyttöveden lämpötila [K]
T_{lv}	lämpimän käyttöveden lämpötila [K]
T_s	lämmitettävän tilan lämpötila [K]
T_u	ulkolämpötila tarkastelujaksona [K]
U	rakennusosan lämmönläpäisykerroin [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
V	rakennuksen tilavuus [m^3]
V_{kv}	lämpimän veden kulutus [m^3]
CAV	vakiovirtailmastointi (Constant air ventilation).
DCV- CO ₂	hiilidioksidi ohjausperusteinen muuttuvailmavirta ilmastointi (CO ₂ sensor based demand-controlled ventilation)
DCV-IR	läsnäolo ohjausperusteinen muuttuvailmavirta ilmastointi (infrared occupancy sensor based demand-controlled ventilation)
IV-kone	Ilmanvaihtokone
LED-valaisin	LED-tekniikkaa hyödyntävä valaisin (light-emitting diode).
LVI	Lämpö, vesi ja ilmanvaihto/ilmastointi.
U-arvo	Rakennusosan lämmönläpäisykerroin
Bruttopinta-ala	Kerrosten yhteenlaskettu ulkoseinien ulkopintoihin rajoittuva pinta-ala
Energiamuotokerroin	Energiamuodon painokerroin E-luvun laskemiseksi
Huonepinta-ala	Huonepinta-ala on huoneiden seiniin ja niiden kuviteltuihin jatkeisiin rajoittuvat ala, jonka korkeus vähintään 1600 mm.
Nettoala	Bruttopinta-ala, josta on vähennetty ulkoseinien rakennusosan ala

1 JOHDANTO

1.1 Projekti

Diplomityön aihe syntyi Insinööritoimisto Granlund Tampere Oy:n projektista, jossa kartoitettiin kiinteistöjen energiansäästömahdollisuuksia. Projektin tarkoituksena oli tutkia poikkeamia energiankulutuksesta ja tehdä ehdotuksia energiasäästöjen aikaansaamiseksi. Kohteet olivat erilaisia, joista diplomityöhön tutkimuskohteiksi valittiin kaksi kiinteistöä, joita tutkittiin tarkemmin.

Pääasiassa työ rajoittuu LVI-tekniikan järjestelmien sekä sähkötekniikan järjestelmien energiatehokkuuteen. Diplomityöstäni rajattiin pois sähkötekniikan järjestelmien energiatehokkuuden tarkastelut.

1.2 Tavoite

Diplomityön tavoitteena on tarkastella kahden kiinteistön energiankulutusta ja tehdä energiakorjausehdotuksia. Tarkastelun toimenpide-ehdotuksille lasketaan energiakorjauksilla saavutettava säästöpotentiaali. Niiden kannattavuutta arvioidaan laskemalla toimenpiteille investoinnin takaisinmaksuaika.

Kiinteistöjen energiakorjaustoimenpiteiden määrittäminen tapahtuu tarkastelemalla nykyistä energiankulutusta sekä kohdekäynneillä. Keskustelut kiinteistön käyttäjien ja huoltomiesten kanssa tarjoavat myös tärkeää tietoa kiinteistön toiminnasta. Kohdekäyntien suoritus tapahtuu käymällä LVI-järjestelmät läpi huoltomiehen kanssa. Niiden kunto ja toiminta pyritään selvittämään mahdollisimman hyvin jo paikan päällä.

Diplomityössäni aion syventyä joidenkin energiansäästömahdollisuuksien vaikutuksiin laskemalla toimenpiteiden säästöjä vuonna 2007 julkaistun D5 laskentaohjeen mallin mukaisesti. Kirjallisuustutkimusosuudessa aion tuoda esille Suomessa ja ulkomailla tehtyjä tutkimuksia sekä artikkeleita. Ne käsittelevät rakennuskannassa havaittuja energiansäästömahdollisuuksia ja tehtyjä energiakorjausehdotuksia.

1.3 Energiatehokkuuden parantamisen tausta

Energiansäästö ja energiatehokkuus ovat nousseet tärkeiksi aiheiksi energian hintojen nousun seurauksena myös kiinteistö- ja rakennusalailla. Elinkaaren aikana syntyneet kustannukset koostuvat käytöstä ja kulumisesta, kuten sähkö- ja lämmitysenergiasta sekä laitteiden vanhenemisesta. Kun energiatehokkuuteen ei ole kiinnitetty huomiota rakentamisen yhteydessä, voivat käyttökustannukset kasvaa kohtuuttomiksi niin vanhemmissa, mutta myös uudisrakennuksissa. Erilaisten energiansäästöohjelmien seurauk-

sena energiakorjauksiin on saatavilla investointitukia, joilla on edistävä vaikutus investointien kannattavuuteen. Kiinteistöt ovat hyvin erilaisia, joka luo haasteita kiinteistöjen energiansäästötoimenpiteiden toteuttamisessa. Lähtökohdat vaikuttavat merkittävästi energiansäästömahdollisuuksiin ja saavutettaviin säästöihin. Tähän vaikuttavat rakennusaikana voimassa olleet säädökset, joita noudattaen kiinteistöt on rakennettu. Rakennusten LVI-teknisiä järjestelmiä suunniteltaessa huomio eri aikakausina ei ole kiinnittynyt koko elinkaaren kustannuksiin. Kiinteistön rakentamisaikana ovat myös vaikuttaneet erilaiset energiahinnat ja suhdanteet.

1.3.1 EU:n energiatehokkuus tavoitteet

EU:n asettamat tavoitteet ovat johtaneet 2000-luvulla energiatehokkuuden parantamiseen johtaviin toimenpiteisiin myös valtiovallan taholta. Rakentamismääräyskoelman vaatimukset energiatehokkuuden osalta ovat tänä aikana tiukentuneet merkittävästi. Yhtenä rajoitusten tavoitteena ovat olleet EU:n asettamien tavoitteiden täyttäminen, joiden avulla vähennetään energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä. Kaikki jäsenmaat ovat sitoutuneet pienentämään energiankulutustaan vuoden 1990 tasosta kokonaisuudessaan 20 % vuoteen 2020 mennessä. Projektiksi 20-20-20 nimetyn muina tavoitteina on lisätä uusiutuvien energiamuotojen käytön osuutta 20 % loppukulutuksesta ja päästöjen vähentäminen 20 % vuoden 1990 tasosta [1]. Usealle jäsenmaalle tämä tarkoittaa päästöjen vähentämistä 5 – 15 %. Suomelle päästövähennys on 16 %. Tämä ja muut hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen tähtäävät tavoitteet ovat johtaneet lainsäädännön kiristymiseen kaikilla energiasektoreilla.

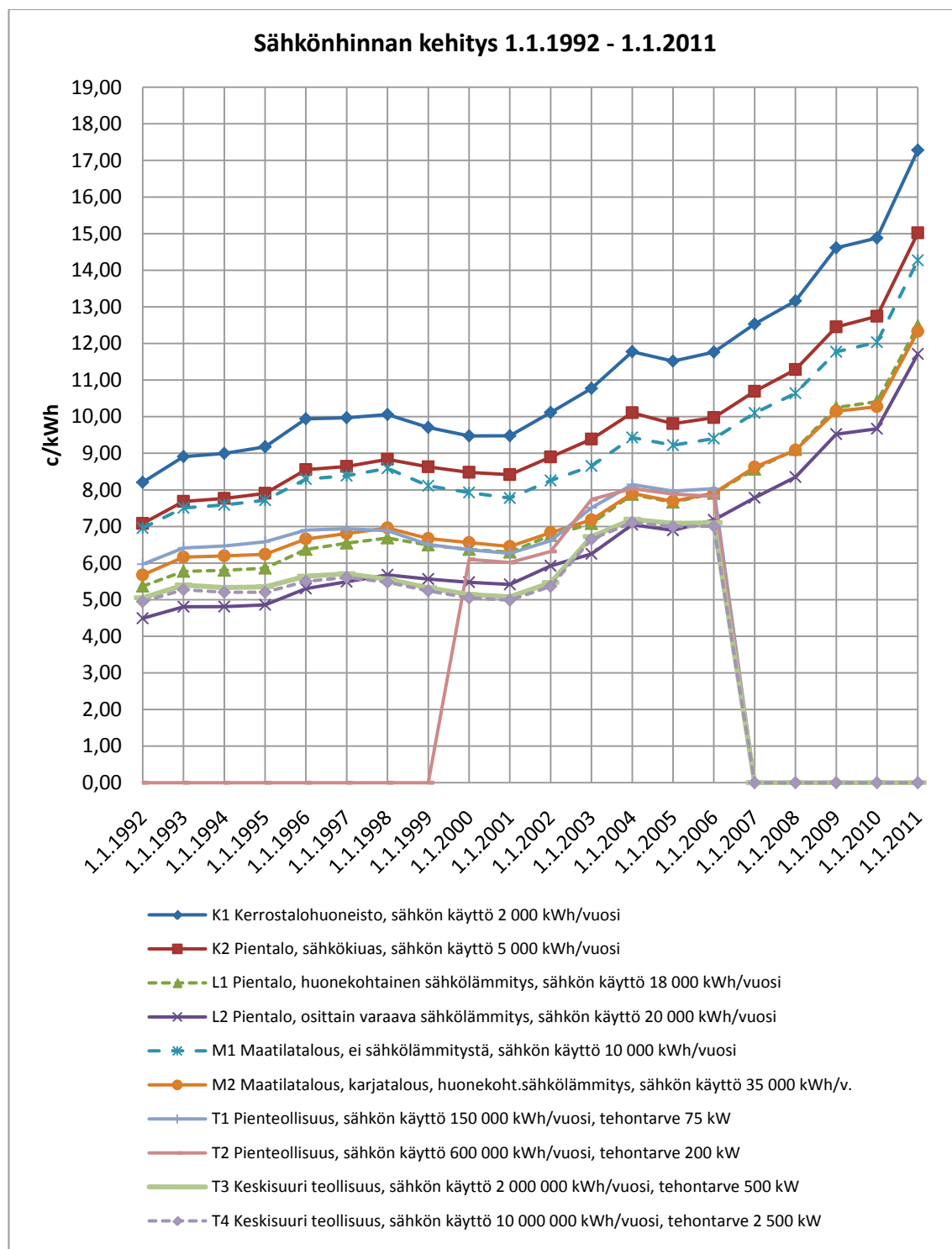
Välitavoitteisiin kuuluu vaatimus 9 % energiansäästön kokonaistavoitteesta vuodelle 2016. Tavoitteeseen pääsemiseksi on elinkeinoministeriö julkaissut julkiselle sektorille hankintoja koskevan ohjeen [2, s.8]. Ohjeistuksen tavoitteena on ohjata hankintoja energiatehokkaampaan suuntaan ohjeistamalla niistä vastaavia henkilöitä asettamaan hankinnoille energiatehokkuuden osalta vähimmäisvaatimuksia jo investointien suunnitteluvaiheessa. Tavoitteet ovat kansallisia, mutta julkisella sektorilla on esimerkiksi energiansäästöä.

1.4 Energiankulutus Suomessa

Energiansäästöä rakennuksien osalta on tehty erilaisten projektien muodossa 1970-luvun energiakriisistä alkaen. Toimijoina ovat olleet yleishyödylliset alan tutkimuslaitokset ja suuret yritykset. Energiakriisin yhteydessä mielenkiinto alaa kohtaan on lisääntynyt. Sähkön ja lämmön hinnan jatkuva kasvu 2000-luvulla on lisännyt mielenkiintoa energiansäästöä kohtaan. Virallista energiansäästötoimenpiteiden kartoitusta kutsutaan energiakatselmukseksi. Kuntoarvioiden yhteydessä suoritetaan rakennetekniikan kunnon arvioinnin lisäksi vastaavia toimenpiteitä LVI-tekniikan ja sähkötekniikan osalta. Virallista katselmointia varten on olemassa energiakatselmoijan pätevyys.

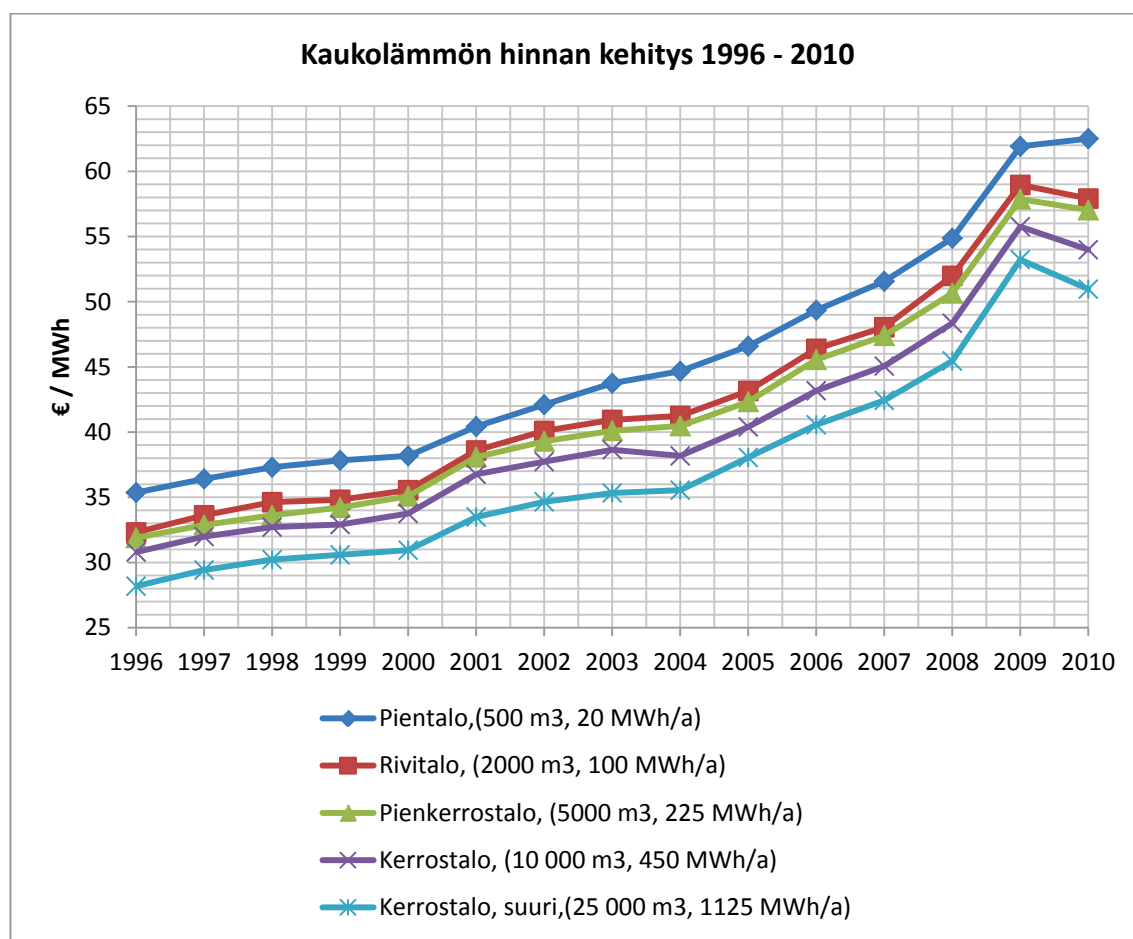
Kuvista 1.1 ja 1.2 voidaan nähdä energian hinnan muutoksia Suomessa 1990-luvulta lähtien. Tätä taustaa vasten voidaan ymmärtää energiansäästöön jatkuvasti li-

sääntyvä mielenkiinto. Samaan aikaan jatkunut talouskasvu ei ole muuttanut kotitalouksien maksukykyä energian hinnan muutoksen kanssa samassa suhteessa. Kehityksen myötä energiankulutukseen on aloitettu kiinnittämään enemmän huomiota myös kotitalouksissa.



Kuva 1.1 Sähkön hintakehitys painotettuna keskiarvoina käyttäjätyypeittäin. Hinta sisältää sähkön siirron- ja myynnin osuudet sekä ajankohtana voimassa olleet verot [3].

Sähkön hinta on kuvan 1.1 tarkastelujaksolla kasvanut käyttäjäryhmästä riippuen 2 - 3 kertaiseksi. Varsinkin 2000-luvun talouskasvun aikana sähkön hinta on ottanut harppauksia ylöspäin. Tähän on johtanut verotuksen kiristyminen ja polttoaineiden yleisen hinnan nousu sekä myös sähkölaitteiden käytön kasvu kotitalouksissa. Polttoaineiden hinnan kasvu on havaittavissa myös kaukolämmön hinnan kehityksessä. Samankaltaista kasvua on tapahtunut kaukolämmön hinnalle hieman lyhyemmällä tarkastelujaksolla, mikä nähdään kuvassa 1.2.

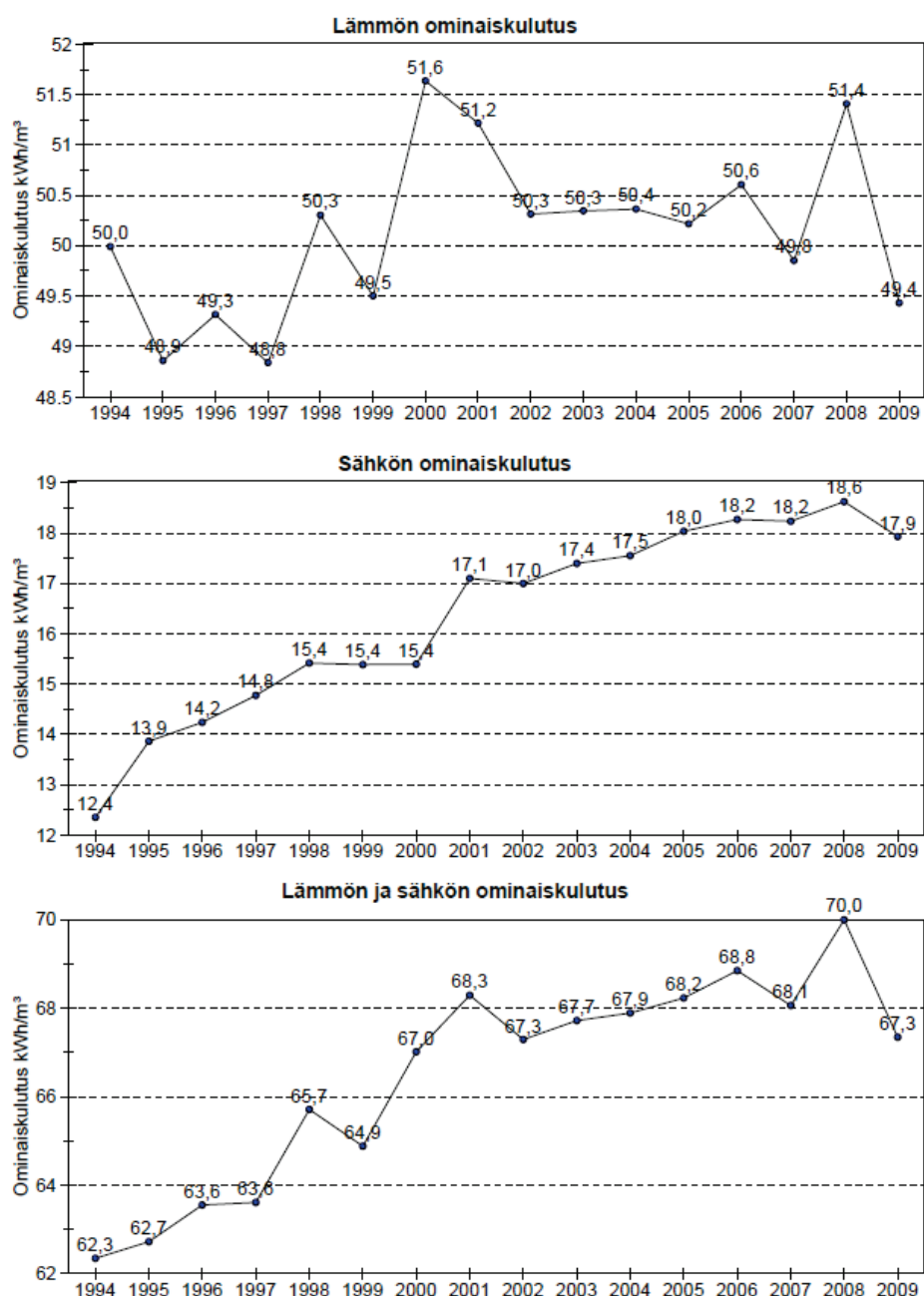


Kuva 1.2. Kaukolämmön painotettu keskihinta kuluttajatyypeittäin vuosien 1996 – 2010 tammikuun alusta. Hinnat ovat kokonaishintoja [4].

Kaukolämmön hinta on kasvanut suurten kerrostalojen osalta 1996 – 2010 välisenä aikana 25 €/MWh, joka tarkoittaa 82 % kasvua vuoden 1996 hintaan verrattuna. Kaukolämpö on yleisesti käytössä lähes kaikissa kiinteistöissä kaukolämpöverkon alueella. Kaukolämmön hinnan kasvun seurauksena joissakin kerrostalo ja rivitalo kiinteistöissä on etsitty säästöjä muista energiamuodoista peruskorjausten yhteydessä. Tällöin ilma- ja maalämpöpumput ovat tulleet kyseeseen kiinteistöjen lämmitysmuotoina.

Kuvassa 1.3 on esitetty Kuntaliiton ylläpitämän tilaston tuloksia kuntien rakennuskannan ominaiskulutuksista. Kuntien rakennuskantaan kuuluvat virastojen, koulujen ja liikuntahallien lisäksi vuokratyösköön tarkoitettuja asuinrakennuksia sekä muita tiloja. Tilastoissa on eroja kuntien välillä ja niistä voidaan huomata, missä kunnissa on pa-

nostettu kiinteistöjen energiataloudellisuuteen. Osa kunnista on niin pieniä, ettei tarkempaan kiinteistöjen energiataloudelliseen tarkasteluun ole välttämättä resursseja tai haluakaan.



Kuva 1.3. Kuntaliiton raportin kuntien kiinteistöjen lämmön, sähkön ja niiden yhteenlaskettujen ominaiskulutuksien kehitys vuodelta 2009 [5, s.23].

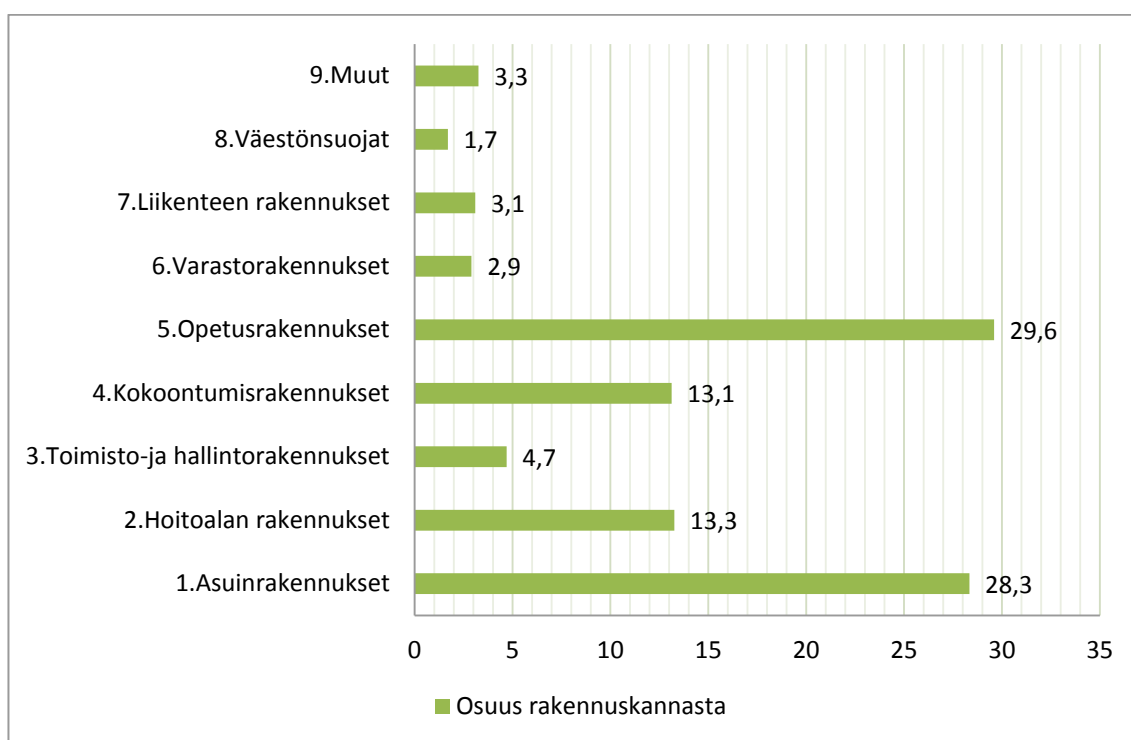
Tilastoista nähdään sähköintensiivisyyden kasvaneen selkeästi, joka on ollut havaittavissa jo pidemmältä ajalta sähkön ominaiskulutuksen kasvuna. Voimakkaasti suosiotaan kasvattaneilla maalämpöpumpuilla on ollut kasvattava vaikutus sähkönkulutukseen. Sähkön ominaiskulutus on kasvanut vuoden 1994 12,4 kWh/m³ tasosta vuoden 2009 17,9 kWh/m³ tasoon, mikä on noin 44 %. Talous- ja kiinteistösähkön kulutus on kasva-

nut tasaisesti viime vuosikymmenien aikana [6, s. 397]. Tulevaisuudessa kasvu tulee tahtumaan, koska sähkölaitteiden energiatehokkuuteen on aloitettu viime aikoina kiinnittämään enemmän huomiota. Energiataloudellisuuden mittariksi on kehitetty sähkölaitteille energiatehokkuusluokat vuosituhaten alussa, josta on otettu mallia myös rakennusten energialuokitukseen. Sähkön ominaiskulutuksen kasvu on syönyt lämmön ominaiskulutuksessa saavutettuja säästöjä ja rakennusten energiataloutta pitäisikin aina tarkastella kokonaisuutena. Energialuokka antaa rakennuksien energiatehokkuudesta melko hyvän vertailupohjan rakennusten välillä.

2 JULKISEN SEKTORIN RAKENNUKSET

2.1 Kuntien rakennuskanta

Julkisen sektorin rakennuskannaksi on arvioitu 200 milj. m³, joka on Suomen rakennuskannan kokonaistilavuudesta noin 15 % [7, s.14]. Kun vuonna 1990 viimeisen 20 vuoden aikana rakennettujen rakennusten osuudeksi arvioitiin 45 % julkisesta rakennuskannasta, on lähitulevaisuudessa odotettavissa saneerauksia ja peruskorjauksia runsaasti. Julkinen rakennuskanta on myös vanhempaa kuin yksityinen ja se näkyy korjausten korkeammassa lukumäärässä [7, s.14]. Kuvasta 2.1 löytyy suuntaa antavia osuuksia kuntien rakennuskannan rakennustyyppien osuuksista.



Kuva 2.1 Rakennustyyppien prosenttiosuudet tutkimuksen 89,3 milj.m³ rakennuskannasta [8, s.18].

Kuntien omat asuinrakennukset, hoitoalan rakennukset, kokoonntumiskennukset ja opetusrakennukset muodostavat noin 85 % osuuden tilaston rakennuskannasta.

2.2 Energiankulutukset

Rakennusten peruskorjausten ja saneerausten yhteydessä pyritään yleisen kunnon kohentamisen lisäksi siihen, että rakennusten energiankulutus lukemat pienenisivät ja olosuhteet paranisivat. Parantuneet olosuhteet saattavat helposti nostaa energiankulutus lukemat suuremmiksi kuin, mitä ne olivat ennen peruskorjausta tai saneerausta.

2.2.1 Mittaaminen ja tiedon kerääminen

Energiankulutuksien seuranta on nykypäivänä yleistä ja välttämätöntä, jotta muutosten ja investointien säästövaikutusta pystytään mittaamaan. Uudisrakennuksiin ja usein myös peruskorjattuihin rakennuksiin tulee kattava automaatiojärjestelmä ja liitännät valvomoon, josta saadaan keskitetysti tietoa rakennuksen laitteiden toiminnasta ja tilasta. Laitteita pystytään myös säätämään valvomosta käsin muuttamalla asetusarvoja tai keskeyttämällä laitteen toiminta. Tärkeää on, että mittaaminen on keskittynyt oikeiden suureiden seuraamiseen, ja että saatua tietoa hyödynnetään. Pelkällä mittaamisella ei säästetä mitään. Vasta mittauksien seuranta ja niistä tehdyt johtopäätökset johtavat tuloksiin, jolloin automaatiosta on hyötyä. Veden-, sähkön- ja lämmönkulutuksen lisäksi usein seurataan esimerkiksi tuloilman lämpötilaa, lämmön talteenoton hyötysuhdetta ja verkostojen meno- ja paluuveden lämpötiloja.

Kulutustietoja luettaessa on tärkeää valita ajanjakso, jota seurataan säännöllisesti. Järjestelmistä saadaan energiankulutuslukemat tunneittain tai muina valittuina tarkastelujaksoina. Rakennuskannasta, joka ei ole keskitetyn valvomon piirissä, joudutaan energiankulutustiedot lukemaan paikanpäällä. Nykyaikaisista järjestelmistä saadaan tietoa energiankulutuksesta tunnin välein, mutta kuukauden tarkasteluväliä voidaan pitää sopivana energiankulutuksen kokonaistarkastelussa. Kun keskitettyä valvomoa tai mittausjärjestelmää ei ole, on mittausjakson usein vuoden mittainen.

Lämpö- ja sähköenergian kulutuksien ja veden kulutuksen mittauksia ja seurantaan vääristävät monet asiat. Järjestelmien kulutuksien mittauspisteitä ei aina ole tarpeeksi, jotta rakennusten yhteydessä sijaitsevien erityyppisten tilojen energiankulutusta voitaisiin eritellä. Usean rakennuksen rakennuskompleksissa tämä voi olla ongelma, jotta voitaisiin saada tarkkaa vertailukelpoista tietoa energiankulutuksesta rakennuskohteisesti.

Rakennuksen huoltohenkilökunnalla ei välttämättä ole riittävästi tietoa talotekniikan toiminnasta. Kiinteistön hoito yrityksen ja rakennuskohtaisen huoltomiehen vaihduttua, tiedot rakennuksen toiminnasta katoavat henkilökunnan mukana. Tämä on ongelma varsinkin vanhoissa kiinteistöissä, joissa ei ole automaatiota, jota voitaisiin keskitetysti valvoa. Kunnollisten piirustusten puute hankaloittaa myös seuranta ja rakennuksen tekniikan käyttöä.

2.2.2 Kulutustietojen vertailtavuus

Vuosittaisten energiankulutuslukemien vertailtavuutta hankaloittavat saneerausten ja peruskorjausten aikaiset toimenpiteet. Lämmön- ja sähkönkulutuksen tiedot vääristyvät näissä tapauksissa. Kulutuslukemien puuttuminen vääristää seurannan tuloksia lyhyellä aika välillä. Toisinaan investointien ja saneerausten seurattessa toinen toisiaan muutamien vuosien välein, voi energiankulutuksen tasoa olla vaikeaa arvioida tarkasti pidemmälläkään ajanjaksolla.

Kulutustietojen vertailtavuus on tärkeää. Yhtenä tapana parantaa vertailtavuutta on jaotella rakennusten kulutustiedot rakennustyyppin mukaan, jolloin rakennusten välillä suuresti vaihtelevien järjestelmien ja käytön vaikutukset energiankulutukseen saadaan minimoitua. Rakennuksen käyttöajoissa ja käyttäjämäärissä on suuria eroja. Ilmaisenergioiden ja häviöiden suuruudet vaihtelevat rakennuksien välillä suuresti. Ryhmittelemällä rakennukset tyyppin mukaan minimoituvat olosuhteiden vaikutukset, jotka nousevat rakennuksen käyttäjistä ja käytöstä. Rakennuksia voidaan jaotella monin eri tavoin, mutta tärkeimpinä ryhminä pidetään toimisto-, kokoontumisrakennuksia, omakotitaloja, rivitaloja, kerrostaloja, terveyskeskuksia, sairaaloita ja kouluja. Rakennustyyppittäisen jaottelun lisäksi rakennuksien energiankulutuksia voidaan vertailla iän, lämmitysmuodon ja tilavuuden perusteella.

2.2.3 Ominaiskulutus

Energiankulutuksille on kehitetty ominaiskulutusarvoja. Niissä energiankulutus jaetaan bruttoneliometrillä tai tilavuudella, jolloin saadaan yksiköiksi näille kWh/brm² ja kWh/m³. Näin vertailtavuus saadaan riippumattomaksi rakennuksen suuruudesta.

Ominaiskulutuksen arvoja on laskettu myös muiden tekijöiden perusteella kuin tilavuudelle ja pinta-alalle. Muita suoriteyksikköjä ovat mm. sairaalan vuodepaikkojen lukumäärä tai koulun oppilasmäärä [9, s.258]. Suoriteyksiköistä käytetään kirjallisuudessa eniten yksikköjä kWh/brm² ja kWh/m³. Yksikköjen kirjavuuden seurauksena ominaiskulutuksia on vaikea vertailla keskenään. Jaettava pinta-ala ei myöskään aina ole bruttopinta-ala, vaan mm. huonepinta-alaa ja nettoalaa on käytetty.

2.2.4 Normitus

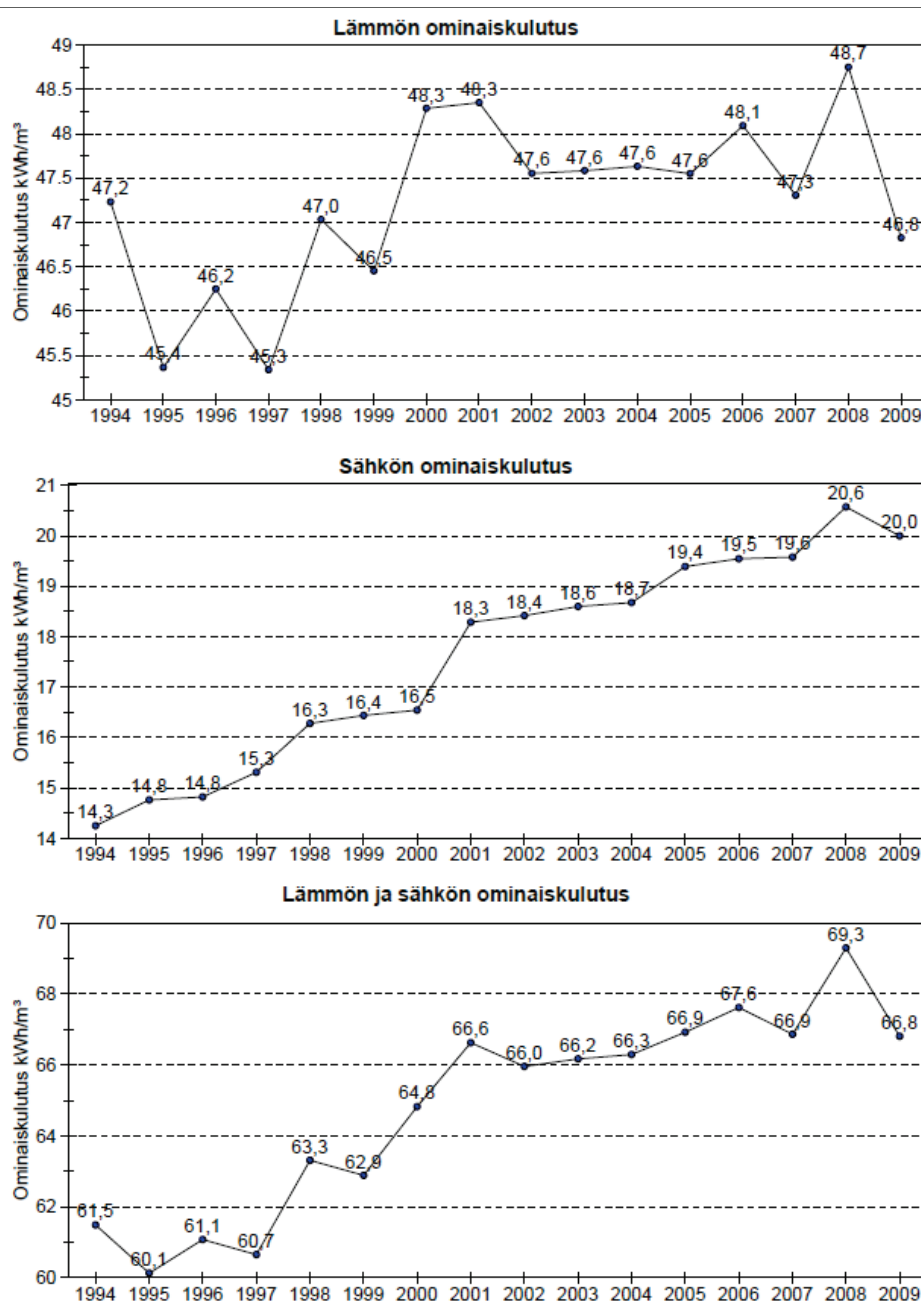
Energiankulutuslukemien normituksella paikkakuntakohtaiset erilaiset säätilat saadaan otettua huomioon energiankulutuksissa. Lämmitysenergian kulutuksen normitus eli sääkorjaus tapahtuu paikkakunnille jokaisen vuoden kuukaudelle laskettujen lämmitystarvelukujen avulla. Lukujen avulla verrataan saman rakennuksen eri vuosina toteutuneita lämmitysenergiankulutuksia sekä eri paikkakuntien rakennusten energiankulutus lukemia [10].

Ilmatieteenlaitos laskee lämmitystarveluvut jokaiselle vuodelle 16 paikkakunnalle. Eri paikkakuntien sääolosuhteet otetaan huomioon paikkakuntakohtaisilla korjaus-

kertoimilla. Normitus tuo eri paikkakunnat ja maantieteellisesti eriarvoisessa asemassa olevat rakennukset samalle viivalle.

2.3 Kuntien rakennuskannan energiankulutus

Kuntaliiton keräämät julkisten rakennusten sähkön, lämmön ja niiden yhteenlaskettujen ominaiskulutuksien summat nähdään kuvasta 2.2. Raportin kulutustiedot ovat normalisoitu 1966 – 1990 vuosien mukaan. Tilastojen kuntien määrä vaihtelee vuosittain, eivät-kä kaikki kunnat kerää kiinteistöistään energiankulutukseen liittyvää tietoa.



Kuva 2.2. Kuntien kiinteistöjen lämmön, sähkön ja niiden yhteenlaskettujen ominaiskulutuksien kehitys julkisten rakennusten osalta vuodelta 2009 [5, s.24].

Kulutuslukemissa kokonaiskulutuksen kasvu näyttää taittuneen ja viime vuosien osalta oli havaittavissa pientä laskua. Sähkön ominaiskulutus on kasvanut pitkään tasaisesti, mutta pieneni tarkastelujaksolla ensimmäisen kerran vuonna 2009. Vaikka kasvu näyttää taittuneen sähkönkulutuksen osalta, tulee sähkön ominaiskulutus todennäköisesti kasvamaan vielä tulevina vuosina ja siten se leikkaa lämpöenergiankulutuksessa saatutettuja säästöjä. Kuvassa 2.3 on eritelty rakennustyyppien ominaiskulutukset.



Kulutus rakennustyypeittäin

9.12.2010

Listassa 82 kuntaa vuodelta 2009

Sivu 1/1

Rakennustyyppi	Lämmön Kpl	Kauko- lämm. osuus%	5% Säästö 1000€	Lämpö 1000m ³	Lämmön om.kul. kWh/m ³	Lämmön om.kul. muutos%	Norm. lämmön om.kul. kWh/m ³	Norm. lämmön om.kul. muutos%	Sähkön 1000m ³	Sähkön om.kul. kWh/m ³	Sähkön om.kul. muutos%	Veden 1000m ³	Veden om.kul. l/m ³	Veden om.kul. muutos%
1. ASUINRAKENNUKSET	3602	98,2 %	2512	21034	48,2	5,5 %	57,8	-5,0 %	21652	11,2	-3,6 %	7534	385,4	0,3 %
11. Kerrostalot (väh. 3 huone)	2822	99,1 %	2247	18987	48,1	6,2 %	57,9	-4,2 %	19135	11,0	-4,5 %	6028	390,2	0,9 %
12. Pientalot (rivitalot ja omat)	682	89,1 %	208	1489	52,3	5,2 %	59,3	-6,9 %	1522	9,6	-24,1 %	1161	370,4	-1,1 %
13. Asuntolarakennukset	98	97,3 %	58	559	39,5	-22,3 %	48,1	-29,6 %	994	18,0	26,0 %	345	351,7	-5,2 %
2. HOITOALAN RAKENNUKSET	2150	93,0 %	2208	15401	56,3	6,8 %	66,1	-4,2 %	14728	28,6	-0,2 %	12757	242,4	-4,4 %
21. Terveystieteiden rakennukset	540	96,1 %	1277	8965	57,3	7,0 %	68,6	-3,5 %	8350	32,7	2,0 %	6694	245,9	-2,0 %
22. Huoltolaitosrakennukset	340	91,8 %	399	2930	53,1	8,7 %	59,7	-1,1 %	2725	25,7	2,4 %	2763	285,9	-1,8 %
23. Lasten päiväkodit	1185	86,8 %	502	3253	56,9	7,5 %	65,7	-4,8 %	3127	20,8	-4,8 %	2681	204,1	-10,5 %
24. Muut	85	88,5 %	30	254	47,0	-17,6 %	52,2	-27,9 %	526	24,0	3,6 %	619	207,5	-5,6 %
3. TOIMISTO- JA HALLINTORAKENNUKSET	314	98,2 %	419	4388	38,9	15,2 %	45,0	2,9 %	4681	21,7	0,1 %	3381	67,0	-21,1 %
4. KOKOONTUMISRAKENNUKSET	793	97,1 %	912	11017	33,1	9,4 %	38,1	-1,1 %	13379	20,1	0,1 %	9121	168,7	-1,4 %
41. Teatteri- ja konserttirakennukset	40	99,6 %	93	1282	29,3	2,3 %	33,1	-9,6 %	1356	16,4	10,5 %	865	49,1	-0,2 %
42. Kirjasto-, museo- ja näyttelyrakennukset	218	96,5 %	160	2137	29,6	5,5 %	34,2	-3,9 %	2161	20,0	-2,9 %	1851	52,2	-5,1 %
43. Seura-, kerho- yms. rakennukset	232	91,1 %	102	986	39,1	12,1 %	45,7	2,2 %	960	16,7	8,5 %	736	86,1	-8,1 %
44. Jäähallit	41	99,3 %	76	1776	17,6	11,0 %	20,1	0,1 %	1831	24,9	-3,7 %	1714	93,5	8,8 %
45. Uimahallit	61	100,0 %	268	1477	76,8	7,1 %	86,7	-2,3 %	1480	38,5	2,3 %	1407	746,5	3,4 %
46. Muut	201	97,9 %	214	3359	24,6	18,3 %	29,3	6,0 %	5592	15,4	8,0 %	2548	48,0	-14,4 %
5. OPETUSRAKENNUKSET	1995	91,1 %	2844	28696	38,1	7,4 %	43,7	-3,7 %	27144	14,5	-0,6 %	23763	72,0	-9,5 %
51. Peruskoulu-, lukio- yms. rakennukset	1573	90,1 %	2309	22734	38,7	8,0 %	44,9	-2,8 %	21785	13,7	1,2 %	18179	73,1	-11,7 %
52. Ammatilliset oppilaitokset	374	95,6 %	498	5364	37,0	8,6 %	40,1	-5,7 %	5066	17,9	-2,0 %	5288	69,1	-1,0 %
53. Muut	48	100,0 %	37	598	24,0	-29,2 %	27,5	-32,3 %	293	13,5	-38,1 %	296	53,3	-9,7 %
6. VARASTORAKENNUKSET	199	98,2 %	139	2174	25,3	-31,2 %	31,5	-30,3 %	3495	21,2	54,2 %	312	59,5	12,2 %
7. LIIKENTEEN RAKENNUKSET	118	98,3 %	134	2319	23,3	15,0 %	28,6	0,5 %	1371	25,6	51,4 %	390	54,4	-30,6 %
8. VÄESTÖNSUOJAT	92	98,2 %	67	1323	20,3	10,9 %	24,5	-0,2 %	1404	12,7	-1,2 %	542	81,3	-1,9 %
9. MUUT	478	94,3 %	295	2933	42,1	21,9 %	48,6	6,7 %	5427	21,9	-30,6 %	2340	81,3	-22,4 %
100. YHTEENSÄ	9741	94,3 %	9531	89285	42,2	7,1 %	49,4	-3,8 %	93280	17,9	-3,7 %	60139	179,9	4,6 %

R018

Kuva 2.3. Energian ominaiskulutukset rakennustyypeittäin ja niiden muutokset edelliseen vuoteen verrattuna [5, s.22].

Rakennustyypeittäin voidaan nähdä lämmön ja sähkön ominaiskulutuksissa suuria eroja. Koko tilaston rakennuskannan lämmön ominaiskulutuksen keskiarvo on 49,4 kWh/m³. Suurimpia kuluttajia ovat uimahallit ja hoitoalan rakennukset. Pienimmät kuluttajat ovat kokoontumisrakennuksista jäähallit ja varastorakennukset. Sähkönkulutuksen osalta suurimmat kuluttajat löytyvät hoitoalan rakennuksista ja kokoontumisrakennusten uimahalleista. Veden kulutuksessa uimahallit ovat selkeästi suurin yksittäinen kuluttaja, mutta myös asuinrakennuksissa tapahtuu merkittävää veden kulutusta.

Hoitoalan rakennusryhmään kuuluvat terveydenhoitorakennukset ja päiväkodit. Terveystieteiden rakennusten normitetuksi lämmönkulutukseksi tilasto antaa 68,6 kWh/m³ ja sähkön ominaiskulutukseksi 32,7 kWh/m³ eli yhteensä 101,3 kWh/m³. Kasvua oli havaittavissa sähkönkulutuksessa ja laskua lämmönkulutus lukemissa. Päiväko-

tien osalta normitetuksi lämmön ominaiskulutukseksi saatiin $65,7 \text{ kWh/m}^3$ ja sähkön ominaiskulutukseksi $20,8 \text{ kWh/m}^3$ eli yhteensä $86,5 \text{ kWh/m}^3$.

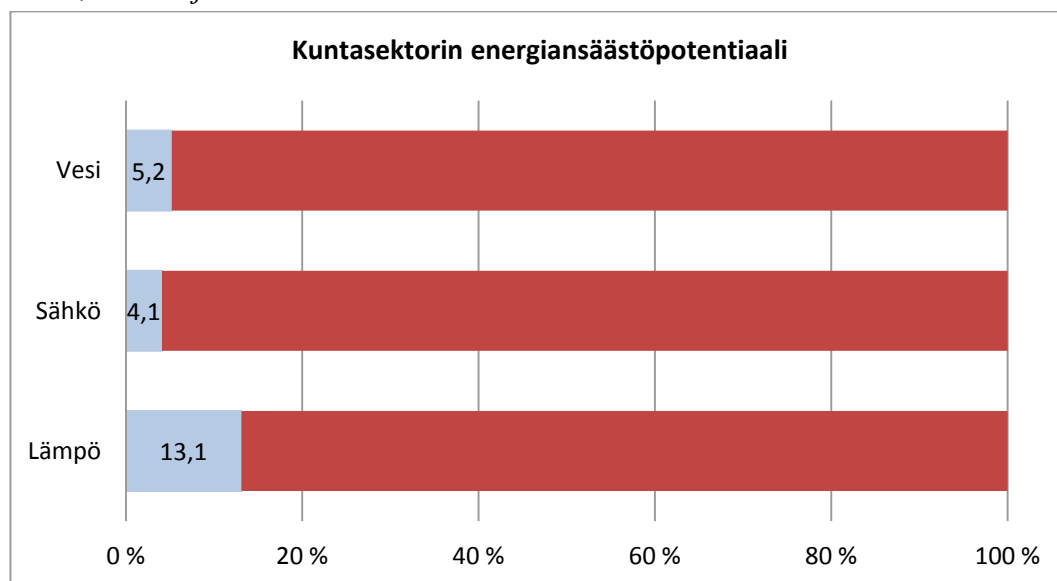
Toimisto- ja hallintorakennuksiin kuuluvien rakennusten energiankulutusluke-
mat ovat kasvaneet hieman edellisvuotisista lukemista. Normitetuksi lämmön ominais-
kulutukseksi tuli $45,0 \text{ kWh/m}^3$ ja sähkön ominaiskulutukseksi $21,7 \text{ kWh/m}^3$ eli yhteensä
 $66,7 \text{ kWh/m}^3$.

Opetusrakennuksiin sisältyvät ammattikoulut, peruskoulut ja lukiot sekä muut
rakennusryhmään luokiteltavat rakennukset. Kouluille ja opetusrakennuksille on tyypil-
listä, että tilat ovat käytössä lämmityskaudella syyskuu – toukokuu välisenä aikana eikä
kesällä tiloilla ole juurikaan käyttöä. Tämän vuoksi jäähdytystä ei ole koulutiloissa juu-
rikaan. Suomen koulujen normitetuksi lämmön ominaiskulutukseksi antaa $43,7 \text{ kWh/m}^3$
ja sähkön ominaiskulutukseksi $14,5 \text{ kWh/m}^3$ eli yhteensä $58,2 \text{ kWh/m}^3$ [5, s.22].

2.3.1 Energiansäästöpotentiaali

Keskimääräisiä ominaiskulutuksia vertaamalla tilaston keskiarvoon voidaan suhteelli-
sesti arvioida rakennuksen energiansäästömahdollisuuksia. Kuntasektorin energiansääs-
töpotentiaali on arvioitu olevan kuvan 2.4 mukainen [11].

Kuva 2.4. Kuntasektorin energiansäästöpotentiaalit kokonaiskulutuksesta prosentteina
veden, sähkön ja lämmön osalta.



Tilaston tiedot perustuvat energiakatselmuksista raportoituuihin tietoihin, jotka on kerätty
vuosien 2004 – 2009 aikana. Yksityisellä sektorilla vastaavat lukemat ovat hieman pie-
nempiä. Laskennallinen säästöpotentiaali on merkittävä. Toteutusprosentti katsel-
muksien ehdotuksissa on noin 70 % [11].

2.3.2 Pohjoismaisten rakennusten energiankulutuksia

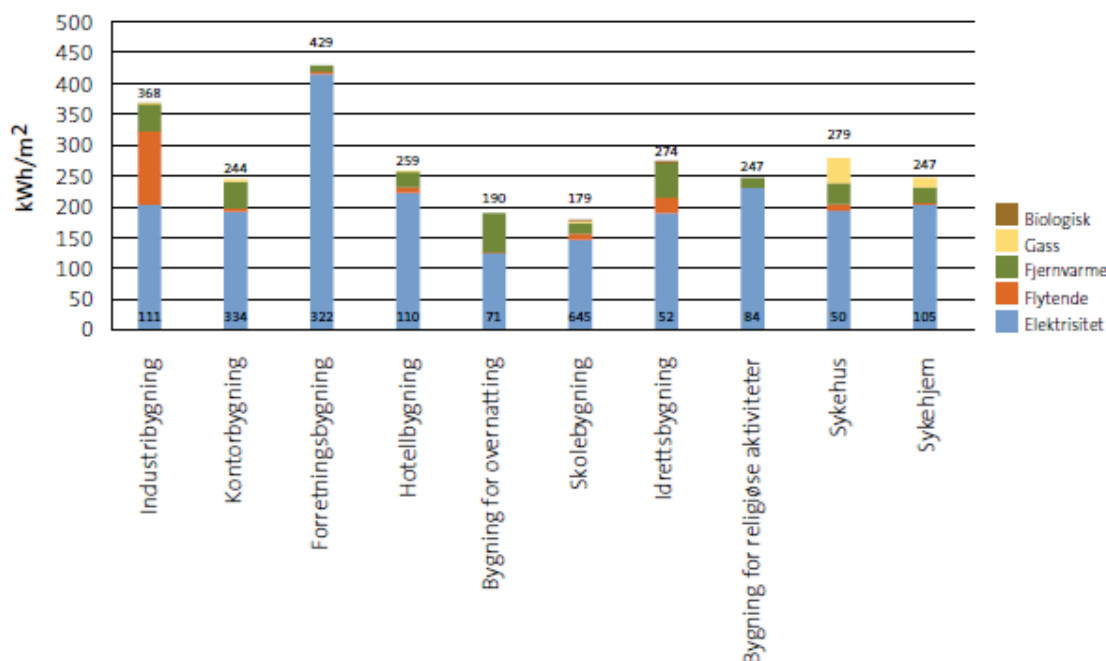
Muissa pohjoismaissa koulurakennuksilla on hieman erilaisia lukemia. Kolmen ruotsalaisen koulun tutkimuksessa saatiin koulujen ominaiskulutusten keskiarvoksi 229,7 kWh/m² [12, s.17]. Taulukossa 2.2 on eritelty koulujen tietoja.

Taulukko 2.2. Ruotsalaisten koulujen energiankulutukset [12, s.17].

	Koulu 1	Koulu 2	Koulu 3
Energiankulutus (kWh/m ²)	214,0	254,5	291,8
Lämmönkulutus (kWh/m ²)	162,8	157,5	215,4
Sähkönkulutus (kWh/m ²)	51,2	96,9	76,5
Pinta-ala [m ²]	883	3548	1517
Rakennusvuosi	1935	1977	1963
Lämmitysmuoto	kaukolämpö	öljy	kaukolämpö

Huonekorkeuden vaihdellessa kolmen ja neljän metrin välillä huomataan koulujen energiankulutuksen olevan suurehko verrattuna Suomen kuntien tilastolliseen keskiarvoon.

Norjalaiset ovat tehneet melko kattavaa koontia eri rakennustyyppien energiankulutuksista. Tilastoihin on otettu mukaan yksityisiä ja julkisia rakennuksia. Jaottelu on tehty tarkasti eri rakennustyyppien mukaan [13, s.19].



Kuva 2.4 Norjalaisten rakennusten energiankulutus (ostettu energia) ja lämmöntuotantomuotojen osuudet eri rakennustyypeissä. Palkit ovat eri rakennusten energiankulutuksia rakennustyypeittäin. Vasemmasta reunasta alkaen kuvassa on esitetty teollisuus-,

toimisto-, liike-, hotelli-, majoitus-, koulu-, urheilu- ja seurakuntarakennukset, sairaalat ja hoitokodit [13, s.16].

Norjalaisten koulujen energiankulutus lukemat ovat tilaston mukaan 179 kWh/m². Toimistorakennusten osalta energiankulutus lukemaksi on tilastoitu 244 kWh/m². Terveystenhoitoon liittyvät rakennukset on tilastoitu hieman eri tavalla, kuin kuntaliiton selvityksessä. Sairaaloille, hoitokodeille ja terveydenhuollon rakennuksille energiankulutus lukemaksi tulee 269 kWh/m².

Koulujen osalta norjalaisten tilastoidut energiankulutusarvot ovat samaa luokkaa suomalaisten koulujen kanssa. Näin voidaan myös sanoa muiden norjalaisten rakennustyyppien kohdalla. Energiamuodoissa on selkeitä maakohtaisia eroja. Suomessa vallitseva kaukolämpö päälämmitysmuotona on Norjassa marginaalinen ilmiö. Sähkölämmityksen osuus rakennuksissa on kaikissa rakennustyypeissä yli 50 %. Tämä johtuu energiantuotantoon sopivien vesivarojen voimakkaasta hyödyntämisestä Norjan sähköenergian tuotannossa.

3 RAKENNUSTEN ENERGIAKORJAUKSET KIRJALLISUUDESSA

3.1 Opetusrakennusten energiakorjaukset

Useissa Euroopan maissa päiväkotien, koulujen, yliopistojen, harjoituskeskusten suunnittelu, toiminta- ja ylläpitoperiaatteet ovat samankaltaisia. Rakennukset myös omaavat yhteisenä piirteenä myös korkean energiankulutuksen verrattuna muuhun rakennuskantaan ja rakennukset ovat usein energiakorjausten kohteena. Korjaukset eivät ole aina johtaneet toivottuun lopputulokseen. Tämä saattaa johtua puutteellisista tiedoista energiakorjauksen investoinnin kannattavuutta arvioitaessa. Päätöksentekoon yhdistyneet heikot arviointiperusteet eivät ole tällöin johtaneet hyvään lopputulokseen. Tätä tulosta vasten IEA:n suorittamassa tutkimuksessa pyrittiin parantamaan energiakorjausten laatua kehittämällä kiinteistöjen energiankulutusta pienentävien toimenpiteiden arviointiperusteita. Työkaluksi arviointiin kehitettiin ohjelmistoa.

Tutkimuksella oli neljä tavoitetta. Ensimmäisenä tavoitteena oli IEA-maiden opetusrakennusten energiakorjausten tiedon kerääminen ja analysointi. Toisena tavoitteena oli tapauskohtainen tarkastelu projekteissa, joissa oli käytetty uusia ja innovatiivisia energiakorjausmenetelmiä. Kolmas tavoite oli ohjelmistojen ja analyysimenetelmien kehitys. Neljäntenä tavoitteena oli tutkimuksen pohjalta luoda dokumentteja ja jakaa niitä käyttäjäryhmälle.

Tutkimuksen tavoitteina oli kerätä tietoa energiansäästöpotentiaalia omaavista toimenpiteistä eri maissa käytössä olevista käytännöistä. Se suoritettiin 27 kiinteistön joukosta, joihin tehty energiakorjaustoimenpiteet analysoitiin ja parhaat käytännöt pyrittiin tuomaan esiin [14, s.9].

Pääasialliset energiansäästötoimenpidealueet kerättiin kirjallisuudesta ja tutkimuksista. Energiakorjausten alueiksi valittiin rakennusten keskeiset energiankulutusalueet. Tarkastellut ryhmät olivat rakennusvaippa, lämmitysjärjestelmät, ilmanvaihtojärjestelmät, jäähdytys ja auringon säteilyn säätely, valaistus ja sähkölaitteet sekä ylläpito. Taulukossa 3.1 voidaan nähdä tarkastellut ryhmät, joihin kohdistettiin energiakorjaustoimenpiteitä. Toimenpiteiden lukumäärästä nähdään joitain viitteitä myös toimenpiteiden kannattavuudesta. Pidemmälle meneviä johtopäätöksiä kannattavuudesta ei kannata tehdä, koska kiinteistöt sijaitsevat Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Sijainnista johtuvat olosuhde-erot vaikuttavat toimenpiteiden kannattavuuteen merkittävästi.

Taulukko 3.1. Tutkimuksen kiinteistöt ja tekniset järjestelmät, joihin kohdistettiin energiakorjaustoimenpiteitä [14, s.24]. X-akselin kirjainlyhenteet tarkoittavat maita, jossa D = Saksa, DK = Tanska, SF = Suomi, FR = Ranska, GR = Kreikka, N = Norja, PL = Puola, UK = Iso-Britannia ja US = Yhdysvallat.

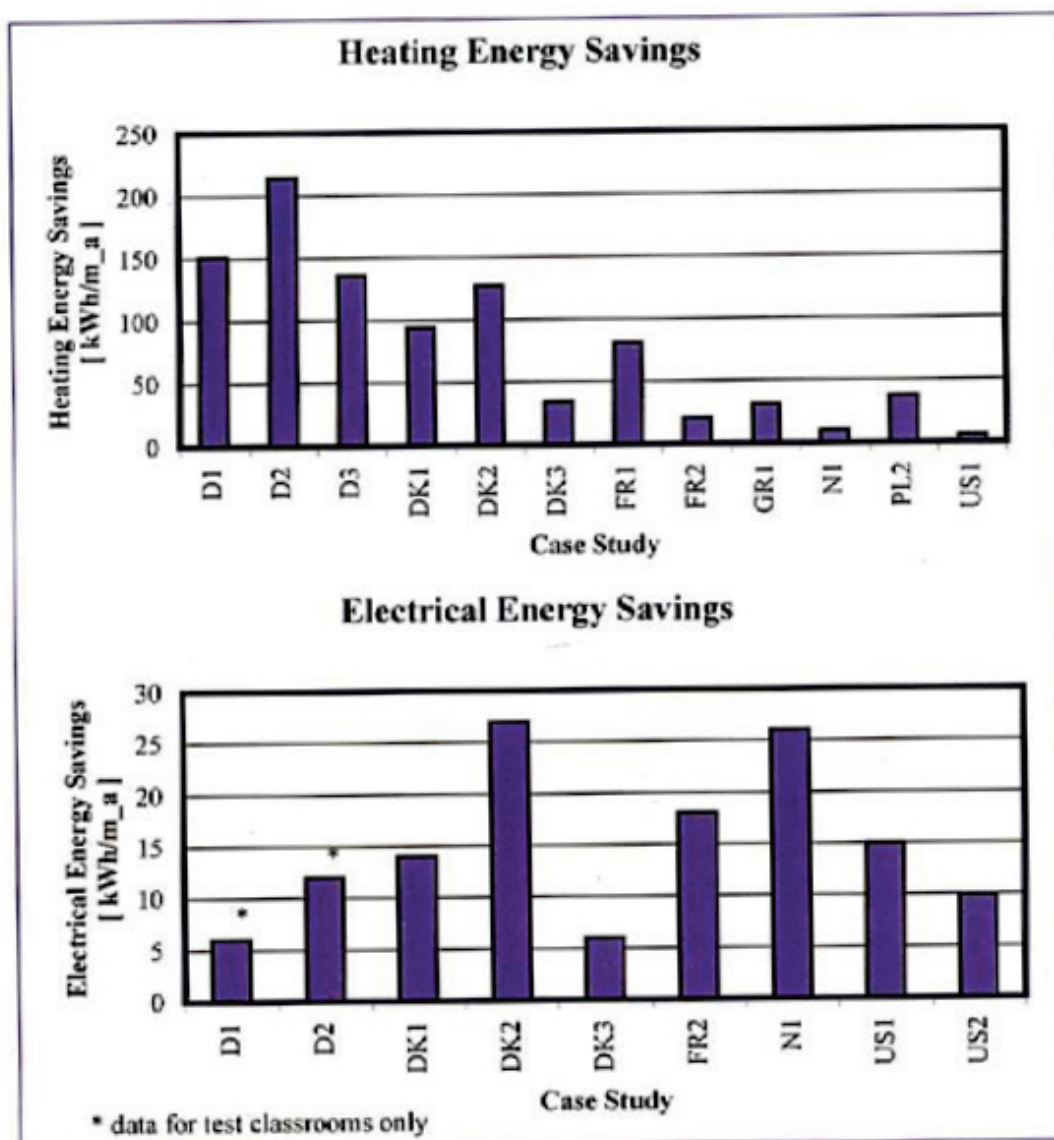
Energy technologies by case study	D	D	D	D	D	DK	DK	DK	FR	FR	GR	GR	N	PL	PL	SF	SF	UK	UK	UK	UK	UK	US	US	US	Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	
Building Envelope																										
Windows	•	•	•			•	•		•	•	•			•	•			•		•		•	•		•	15
Insulation material & systems	•	•	•			•	•	•	•	•	•				•			•				•	•			13
Over-cladding systems																		•								1
Doors	•	•	•						•	•					•											6
Heating systems																										
Heating insulation	•	•							•	•										•	•	•	•			8
Domestic hot water	•	•							•	•														•		5
Energy sources	•		•						•	•			•	•						•	•	•	•	•	•	11
Control systems	•	•	•	•	•	•			•	•				•	•					•	•	•	•	•		14
Ventilation systems																										
Natural ventilation systems				•	•	•	•	•	•	•	•	•	•							•						10
Mechanical ventilation systems		•	•	•					•	•						•	•						•			8
Hybrid ventilation systems	•		•	•	•	•		•			•		•													7
Control & information systems		•	•	•	•			•	•	•	•	•	•	•						•			•			12
Solar control & cooling																										
Shading & glare protection	•	•	•						•	•	•	•	•													8
Cooling systems				•	•								•						•					•		5
Air conditioning systems				•	•																		•			3
Control systems	•	•		•	•																		•			5
Lighting & Electrical appliances																										
Lighting systems	•	•			•				•	•	•								•	•	•		•	•		11
Electrical appliances	•			•	•				•	•	•			•												7
Daylighting technologies	•	•			•			•	•	•	•	•	•													8
Control systems	•			•	•	•			•	•	•								•	•				•		10
Management																										
Energy auditing techniques	•	•							•	•	•	•														6
Commissioning											•															1
Education and training		•									•															2
Non-investment measures		•									•															2

Suosituimpina energiakorjaustoimenpiteiden osa-alueina olivat rakennusvaipasta ikkunat (15 kpl) ja rakenteiden lisäeristys (13 kpl). Lämmitysjärjestelmistä lämmitystapa (11 kpl) ja säätöautomaatiikka (14 kpl) nousivat toteutetuimmiksi parannuksiksi. Ilmanvaihdesta painovoimainen ilmanvaihto (10 kpl) ja säätölaitteet (12 kpl) olivat eniten korjaustoimenpiteiden alla. Valaistus ja sähkölaitteet ryhmästä energiakorjauksia haluttiin toteuttaa valaistusjärjestelmille (11 kpl) ja niiden säätölaitteille (10 kpl). Ehdotettujen parannusten määrä vaihteli kohteittain merkittävästi, mikä johtuu kannattavuuden ja käytettävien resurssien suuruudesta.

Kiinteistöihin tehtyjä perinteisiä energiakorjaustoimenpiteitä olivat lisäeristys, uudet energiatehokkaat ikkunat, energiatehokas valaistus ja sen ohjaus, lämmitysjärjestelmän uudistus ja säädön parannus sekä automaatiojärjestelmän lisäys. Uudempina

energiakorjausmenetelminä olivat hybridi-ilmanvaihto ja tarpeenmukainen ilmanvaihto, jotka toteutettiin 30 % kiinteistöistä. Luonnollisen päivänvalon tehokkaampaa käyttöä ja valaistuksen ohjausta käytettiin 25 % kiinteistöistä. Muista energiakorjausmenetelmistä listattiin ilmanvaihdon tuloilman esilämmitys, uudet rakennuseristeet ja aurinkoenergian hyödyntäminen passiivisesti sekä aurinkopaneelien avulla.

Energiansäästöä saavutettiin kiinteistökohteissa merkittävästi, mutta vaihtelevasti. Saksalaisten ja tanskalaisten kohteiden energiakorjausten tuloksena kiinteistöt, joiden lämmitysenergiankulutus vaihteli ennen korjaustoimenpiteitä 200 – 280 kWh/m²/a välillä, pienensivät energiankulutuksensa 50 – 90 kWh/m²/a. Säästöjä raportoitiin näissä maissa 55 – 75 % lämmityksessä ja sähkönkulutuksessa 30 – 40 %. Iso-Britanniassa ja Yhdysvalloissa säästöksi kirjattiin huomattavasti pienemmät lukemat lämmityksessä 8 – 20 % ja sähkönkulutuksessa 15 % [14, s.27]. Kuvasta 3.1 nähdään joidenkin kiinteistökohteiden energiansäästön toteuma.



Kuva 3.1. Otos joidenkin esimerkkikohteiden saavutetusta energiansäästöstä [14, s.21]. Y-akselilla kuvaajissa ovat lämmön- ja sähkönkulutus kilowattitunteina vuotta kohden. X-akselilla ovat kiinteistökohteiden nimet. Kirjaintunnuksen kertovat, missä maassa kohde sijaitsee.

Energiakorjauksilla saavutettiin merkittäviä säästöjä. Kuitenkin kannattavimmat ja realistisimmat säästötoimenpiteet toteutettiin kohteissa, joissa saavutettiin maltillisempia energiansäästölukemia. Näissä kohteissa takaisinmaksuaika oli maksimissaan viisi vuotta. Suurimmat säästöt saavutettiin kohteissa, joita käytettiin energiansäästöllisinä esimerkkikohteina [14, s.22]. Tästä johtuen, kannattavien energiakorjausten sijaan, suuri energiansäästö oli kohteissa päätavoitteena.

Kiinteistökohteiden analysoinnin perusteella luotiin kolme erilaista strategiaa, jotka toimivat perusteena energiakorjauspäätöksissä. Ensimmäinen strategia perustuu useiden energiasäästötoimenpiteiden käyttämiseen ja pitkien takaisinmaksuaikojen hyväksymiseen. Toisena strategiana on keskittyä ainoastaan energiakorjaustoimenpiteisiin,

joilla on lyhyt takaisinmaksuaika, vaikka energiansäästö ei olisikaan kovin suurta. Kolmantena strategiana on keskittyä ainoastaan rakennuksen sisäilmasto-olosuhteiden parantamiseen ja pitää energiansäästöä toissijaisena tavoitteena.

3.2 Julkisten rakennusten peruskorjausten energiavaikutukset

VTT:n ja Tampereen teknillisen yliopiston yhteistyössä tekemässä tutkimuksessa haluttiin selvittää peruskorjausten ja perusparannusten vaikutuksia energiankulutukseen sekä siihen liittyvään päätöksentekoon [7, s.11]. Tutkimus toteutettiin kyselynä, joka lähetettiin 62 kuntaan, joista kuudesta vastattiin tutkimuksen kysymyksiin. Lisäksi toteutettiin haastattelu, jossa kysyttiin tietoja kattavammin. Vastausten myötä kiinteistöjen määräksi saatiin kerättyä 23 kiinteistöä eri puolilta Suomea.

Kiinteistökanta koostui kouluista (13 kpl) ja päiväkodeista (3 kpl). Loput rakennuksista olivat muita kunnan toimintaa sisältäviä rakennuksia (7 kpl). Peruskorjausten pääasialliset syyt oli suurimmassa osassa rakennuksia rakenteellinen huonokuntoisuus, ilmanvaihtojärjestelmän huonokuntoisuus, huono sisäilman laatu, lämmitysjärjestelmän huonokuntoisuus ja sähkö- sekä automaatiojärjestelmän huonokuntoisuus. Peruskorjausten yhteydessä toteutettiin energiakorjaustoimenpiteitä LVI-järjestelmien uusimisen yhteydessä.

Energiankulutukseen vaikuttavien korjaustoimenpiteiden esiintymistiheys voidaan nähdä taulukosta 3.2.

Taulukko 3.2. *Energiankulutukseen vaikuttavien korjausten esiintymistiheys tutkimuksessa [7, s.23].*

Rakennusvaippa		
1	Uudet ikkunat	35 %
2	Yläpohjan lisäeristys	22 %
3	Ulkoseinien lisäeristys	9 %
Tilojen lämmitys		
4	Lämmityksen säätöautomaatiikka uusittiin	78 %
5	Patteriverkoston perussäätö	74 %
6	Termostaattiset patteriventtiilit asennus	65 %
7	Lämmönsiirtimien uusinta	48 %
8	Öljykattila uusinta	17 %
9	Öljypolttimen uusinta	9 %
Valaistus		
10	Valaisimien uusinta	43 %
11	Sisävalaistuksen ohjaustavan muutos	22 %
Ilmanvaihto		
12	Ilmanvaihtojärjestelmä uusittiin kokonaan	83 %
13	Yksittäisten iv-koneiden lisäys tai uusinta	57 %
14	Lämmön talteenoton lisäys tai uusinta	43 %
15	Ilmanvaihdon ohjaustavan muutos	30 %
Muut		
16	Rakennusautomaation uusinta kokonaan	91 %
17	Vesikalusteiden uusinta	61 %
18	Rakennuksen liittäminen kaukovalvontaan	57 %

Suosituimmiksi toimenpiteiksi osoittautuivat lämmityksen säätöautomaatiikan uusinta, patteriverkoston perussäätö, termostaattisten patteriventtiilien asennus, ilmanvaihtojärjestelmän uusinta kokonaan ja rakennusautomaation uusinta kokonaan. Toimenpiteet toteutettiin 60 – 90 % kiinteistöistä.

Tutkimuksen kaikkiin kiinteistöihin tehtyjen toimenpiteiden seurauksena lämmönkulutus kasvoi keskimäärin 7 %. Kulutuksen kasvua voidaan selittää käyttöasteen ja laatutason kasvulla [7, s.47]. Painovoimaisen ilmanvaihdon muutos koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoiksi parantaa sisäilmasto-olosuhteita ja kasvattaa ilmamääriä kiinteistöissä. Ilmamäärien kasvun seurauksena ilmanvaihdon energiankulutus kasvaa merkittävästi.

Sähkönkulutus kiinteistöissä kasvoi keskimäärin 63 %. Kulutuksen kasvua voidaan selittää käyttöasteen kasvulla. Sähköä kuluttavien laitteiden määrä oli kasvanut 43 % kiinteistöissä. Osaan rakennuksista oli lisätty jokin huomattavasti sähköä kuluttava

tila, mutta myös sähköä kuluttavien laitteiden määrä kasvoi voimakkaasti. Myös koneellisen ilmanvaihdon muutos painovoimaisesta ilmanvaihdosta lisää sähkönkulutusta. Useassa kohteessa oli lisätty ilmanvaihtokoneita. Ilmanvaihtokoneiden tai ilmastointitavan muuttumista ei kuitenkaan aina pidetty sähkönkulutusta kasvattavana tekijänä [7, s.44].

Veden kulutus pieneni keskimäärin 26 % tutkituissa kohteissa, joka on seurausta uusista vähemmän vettä käyttävistä vesikalusteista [7, s.45]. Kalusteiden uusiminen tehtiin 61 % kohteista. Veden kulutuksen kasvua tapahtui voimakkaasti kiinteistöissä, joiden käyttötarkoitus muuttui ympärivuorokautista asumista muistuttavampaan suuntaan.

Kulutuslukemat mitattiin peruskorjatuista rakennuksista, kun peruskorjauksesta oli kulunut kaksi vuotta. Tilannetta verrattiin peruskorjausta edeltäneeseen kulutukseen. Energiankulutus kasvoi merkittävästi peruskorjatuissa kiinteistöissä. Näissä kiinteistöissä oli jo havaittu laadullisia puutteita, jotka olivat myös syitä siihen, miksi korjaustöidenpiteisiin ryhdyttiin. Sisäilman laatu parantui kiinteistöissä merkittävästi ja sisäilmastolliset olosuhteet yleensäkin. Käyttöasteen kasvu mainittiin myös yhdeksi syyksi energiankulutuksen kasvamiselle. Tämän mahdollisti uusien toimintojen tuominen tiloihin ja siitä seurannut tilojen tehokkaampi käyttö. Lämmönkulutusta pienentävät laitteiden toiminta havaittiin hieman kasvattaneen sähkönkulutusta ja tähän asiaan tutkimuksessa kehoitettiin kiinnittämään huomiota [7, s.48].

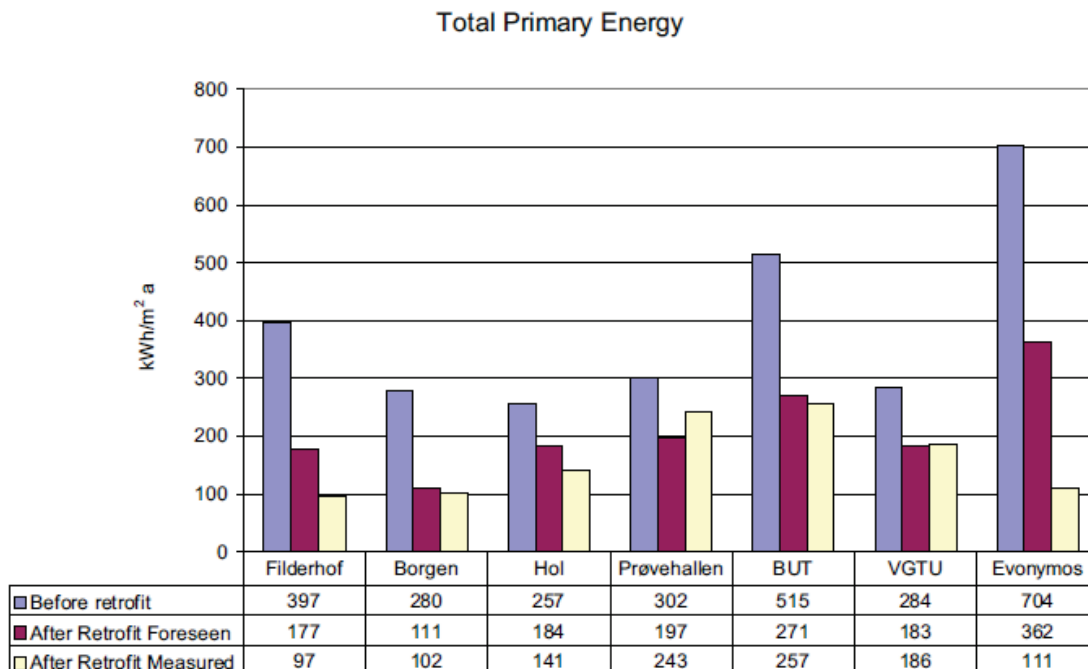
Tutkimuksen vastausprosentin ja pienehkön kiinteistöotoksen perusteella tutkimustuloksia pidettiin suuntaa antavina. Peruskorjauksien myönnettiin kuitenkin kasvattavan energiankulutusta. Energiansäästöinvestointeja kehoitettiin kuitenkin tehtäväksi, koska tekemättä jättämisen seurauksena energiankulutuksen odotettiin kasvavan räjähdysmäisesti [7, s.47]. Usein peruskorjauksilla päästiin energiankulutuksissa peruskorjausta edeltäneisiin kulutuslukemiin, vaikka laatutaso kasvoi. Kiinteistöjen lähtökohtien erilaisuuden seurauksen rakennustyyppikohtaisia energiavaikutuksia ei pystytty tuomaan esiin [7, s.59].

3.3 Brita in Pubs energiansäästöprojekti

Brita in Pubs on EU rahoitteinen energiansäästöprojekti, joka suoritettiin usean EU-maan kesken. Projektin tavoitteena oli tutkia innovatiivisia ja kustannustehokkaita energiakorjausmenetelmiä, joilla saadaan parannettua rakennusten energiatehokkuutta ja uusiutuvien energiamuotojen käyttöönottoa. Tavoitteina oli vähentää rakennuksien olosuhteiden tyytymättömien osuutta ja pienentää energiamuotokerrointa alle kahden. Kohteiksi valittiin erilaisia kiinteistöjä eri puolilta Eurooppaa [15, s.4]. Filderhof on Saksan Stuttgartissa sijaitseva päiväkotikoulu. Borgen on norjalainen koulu- ja lähipalvelukeskus, jossa on koulu, päiväkotikoulu ja terveydenhoitotiloja. Norjasta on myös Hol, joka on puukirkko. Vanhaa teollisuusrakennusta edustaa Provenhallen, joka muutettiin kulttuurikeskukseksi. BUT on vanha panimo, joka muutettiin Brno yliopiston tiloiksi. VGTU on

liettualaisen yliopiston monikerroksinen toimistorakennus ja Evynomos on kreikkalainen vanha kirjasto.

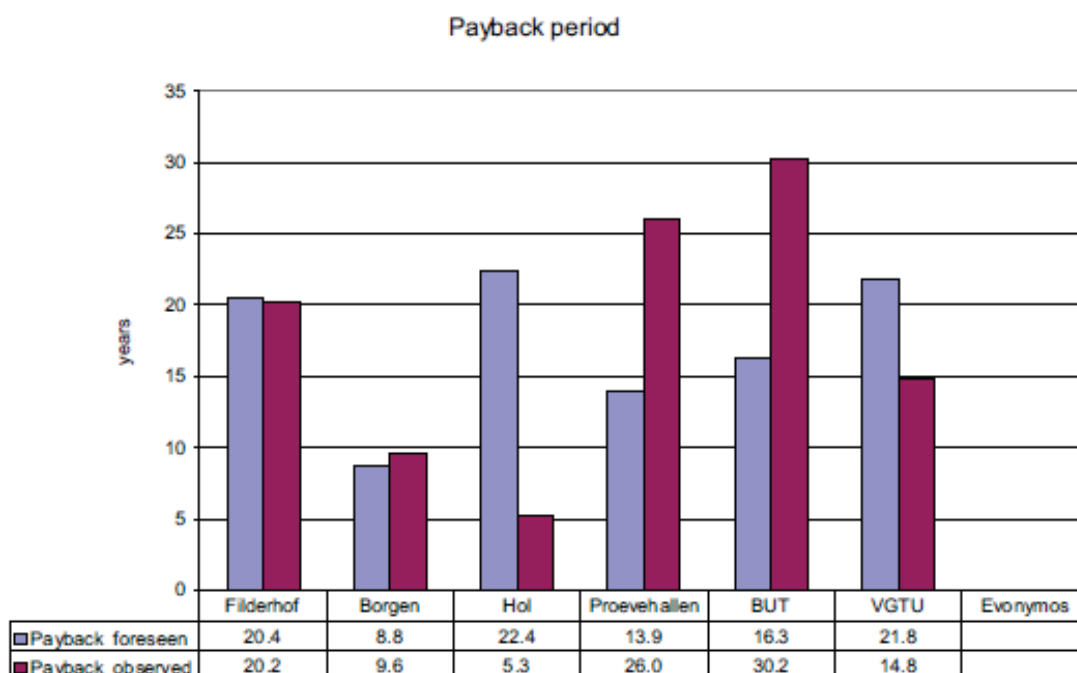
Kuvassa 3.2 on esitetty tutkimuksessa mukana olleiden rakennusten energiankulutuslukummat ennen energiakorjauksia ja niiden jälkeen.



Kuva 3.2. Kohteiden energiankulutuslukummat ennen energiakorjaustoimenpiteitä ja niiden jälkeen sekä laskettuina, että toteutettuina [15, s.13].

Energiakorjauksien vaikutusta oli laskettu etukäteen ja se näkyy kuvassa 3.3 keskimäisessä palkissa. Nykytilaa kuvaa vasemmanpuolisin palkki. Kolmas palkki vasemmalta on toimenpiteiden jälkeen mitattu energiankulutus. Jokaisessa kohteessa energiansäästöä syntyi huomattavasti. Osassa kohteista kaikki energiakorjaukset eivät toteutuneet rahoitusvaikeuksien vuoksi, kun päästiin toteutusvaiheeseen. Myös rakennusten historiallisuus vaikeutti energiakorjausten toteuttamista. Tämän vuoksi jouduttiin tekemään kompromisseja toteutuksien kohdalla.

Kohteiden suuret energiansäästöluvut mahdollisti se, että hyväksyttiin pidempiä takaisinmaksuaikoja. Parissa kohteessa laskettu takaisinmaksuaika nousi yli 20 vuoden. Pääasiassa takaisinmaksuajat olivat kuitenkin 10 – 15 vuoden välissä. Toteutuneet takaisinmaksuajat nähdään kuvasta 3.3.



Kuva 3.3. Kohteiden lasketut ja toteutuneet takaisinmaksuajat kohteittain [15, s.20]. Vasemman puoleinen palkki on laskettu takaisinmaksuaika.

Provehallenin ja BUTin kohdalla takaisinmaksuajat toteutuneille energiakorjauksille nousivat lähes kaksinkertaisiksi ennalta arvioituihin nähden.

Tarkastellaan tarkemmin onnistuneiden kohteiden energiakorjaustoimenpiteitä. Energiakorjauskohteena ollut Filderhoff on 1890 rakennettu 2131 m² kivirakennus [15, s.24]. Se sijaitsee Etelä-Saksassa, missä vuotuinen keskilämpötila on 8,6 °C. Rakennukseen tehtiin täydellinen peruskorjaus ja siihen rakennettiin laajennus. Rakennuksen vaippaa lisäeristettiin merkittävästi. Taulukosta nähdään 3.3 vanhat ja uudet U-arvot.

Taulukko 3.3. Filderhoffin rakennusosien U-arvot ennen ja jälkeen peruskorjauksen.

Rakennusosa	U-arvot [W/m ² K]	
	Ennen	Jälkeen
Ikkunat	3,0	1,0
Seinät	1,4	0,25
Yläpohja	1,0	0,20
Alapohja	1,9	0,40

Kaikkien rakennusvaipan osien U-arvo parani lähes neljännekseen. Seinien lisäeristysten arvioitiin parantavan energiatehokkuutta 79 kWh/m²/a. Myös 3-lasisten ikkunoiden laskettiin parantavan lämmönkulutusta 20 kWh/m²/a. Lämmönjakojärjestelmä uusittiin kokonaan. Vanha lämmityskattila korvattiin kondenssikattilalla, jossa polttoaineena on kaasu. Uuden kattilan merkittävästi paremmalla hyötysuhteella ja automaatioon kytkeytyillä säätölaitteilla arvioitiin saavutettavan 45 kWh/m²/a säästöä [15, s.34]. Lämmitysjärjestelmään integroidulla sähkön- ja lämmönyhteistuotannolla (CHP) arvioitiin saatavan merkittävää säästöä sähkönkulutuksessa. Kaasulla toimivan CHP-laitoksen lämpö-

teho on 32 kW ja sähköteho 17 kW. Sillä lämmitettiin pääasiassa käyttövetä. Ylimääräinen sähkö voitiin myydä ja syöttää takaisin sähköverkkoon.

Rakennuksen ilmanvaihto uusittiin kokonaan rakentamalla koneellinen ilmanvaihto aikaisemman painovoimaisen ilmanvaihdon tilalle. Uusiin ilmanvaihtokoneisiin asennettiin lämmön talteenottopatterit, joiden hyötysuhde on 80 %. Hallitulla koneellisella ilmanvaihdolla laskettiin saavutettavan 39 kWh/m²/a säästö vuosittain. Huonokuntoisuuden vuoksi uusiminen oli välttämätöntä laajennuksen yhteydessä, vaikka investoinnin laskennallinen takaisinmaksuaika on melkein 19 vuotta.

Sähköenergiaa säästävinä toimenpiteinä energiatehokas valaistus ja luonnonvalo hyödynnettiin korjauksen yhteydessä tehokkaasti. Uusiutuvaksi energialähteeksi asennettiin aurinkosähköpaneelit sekä käyttövetä lämmittävät aurinkokeräimet. Niille laskettiin 11 kWh/m²/a säästö. Näillä kaikilla toimenpiteillä vähennettiin energiankulutusta 299,6 kWh/m²/a. Peruskorjauksen jälkeen energiankulutukseksi mitattiin 97,2 kWh/m²/a.

Borgen on energiakorjauskohteena ollut 1971 rakennettu koulukeskus. Se sijaitsee Norjassa Oslon lähellä, missä vuotuinen keskilämpötila on 5,2 °C. Kohteessa on liikuntasali ja muuta kerrosalaa ensimmäisessä kerroksessa yhteensä 10178 m² [15, s.94]. Rakennuksen kunto oli ennen korjausta melko huono lämmöneristävyyden kuin sisäilmasto-olosuhteiden osalta. Rakennuksessa oli sähkölämmitys. Kulutuslukema oli ennen korjauksia 280 kWh/m²/a. Energiankulutuskustannusten pienentämiseksi tehtiin seuraavia toimenpiteitä. Sähkölämmityksen lisäksi lämmityskulutusta vähentämään lisättiin maalämpöjärjestelmä. Maalämpöjärjestelmällä on mahdollista tuottaa 2,5 – 3 kertainen määrä lämpöä samalla sähkönkulutuksella kuin pelkällä sähkölämmitysjärjestelmällä. Uudella lämmitysjärjestelmällä saavutetaan laskennallisesti 29 kWh/m²/a energiansäästöä, kun verrataan uutta lämmitysjärjestelmää vanhaan sähkölämmitykseen.

Rakennusvaippaa lisäeristettiin peruskorjauksen yhteydessä kaikilta osin ja parannukset rakennusvaipan U-arvoissa nähdään taulukossa 3.4.

Taulukko 3.4. Borgenin rakennusosien U-arvot ennen ja jälkeen korjaustoimenpiteiden.

Rakennusosa	U-arvot [W/m ² K]	
	Ennen	Jälkeen
Ikkunat	0,35	0,2
Seinät	0,6	0,13
Yläpohja	2,0	1,1
Alapohja	0,3	0,15

Rakennuksen sisäilmaolosuhteita parannettiin hybridi-ilmanvaihdolla ja lämmön talteenotolla. Painovoimaista ilmanvaihtoa tehostettiin energiatehokkailla puhaltimilla, joita ohjattiin hiilidioksidipitoisuuden perusteella tarpeenmukaisesti. Tuloilma tuotiin maanalaisissa kanavissa huonetiloihin. Ilmanvaihdon parannuksilla saavutetaan 20 kWh/m²/a säästöä.

Valaistuksessa parannettiin luonnonvalon kulkua rakennukseen kattoikkunoiden avulla. Rakennukseen lisättiin automaatiojärjestelmä, joka säätelee valaistusvoimakkuutta luonnon valotehon mukaan. Rakennuksen valmistuttua energiankulutus mitattiin ja se pieneni lukuun 102 kWh/m²/a. Säästöä syntyi siis 178 kWh/m²/a [15, s.114].

3.4 Norjalaisten koulujen energiansäästö tarpeenmukaisella ohjauksella

Norjalaisessa tutkimuksessa tutkittiin koulujen käyttöä ja sisäilmanlaatua [16, s.1234]. Tilastojen perusteella laskettiin eri ilmanvaihtojärjestelmien tuomia kustannussäästöjä energiankulutuksessa. Tutkimukseen valittiin satunnaisesti 81 koulua, joista käytiin 157 luokkahuonetta läpi. Katselmuksien yhteydessä tilastoitiin luokan oppilaiden määrät, läsnä olevien oppilaiden määrät, luokkahuoneiden käyttö tarkastuspäivän aikana, luokkien lattiapinta-ala ja tilavuus. Tilastojen perusteella tehtiin laskelmia, miten erilaiset ilmanvaihtojärjestelmät kuluttaisivat energiaa.

Tyypillinen kouluissa käytettävä ilmanvaihtojärjestelmä on vakioilmavirta-ilmavaihto (CAV), joka toimii mitoitusilmavirralla koulun päivittäisen käytön ajan. Mitoitusilmavirran on yleensä mitoitettu 28 oppilaalle ja kahdelle opettajalle, mikä tarkoittaa 270 l/s tai 330 l/s raitisilmaa riippuen rakennuksesta vapautuvista epäpuhtauksista. Tällöin perinteisellä ilmanvaihdolla energiaa menee hukkaan, kun luokkien oppilasmäärät ja käyttöajat vaihtelevat.

Vaihtoehtona perinteiselle ilmanvaihtojärjestelmälle tutkimuksessa oli muuttuvaimavirtaiset järjestelmät, joita ohjattiin CO₂-pitoisuuden perusteella (DCV- CO₂) tai infrapunailmaisimien (DVC-IR) eli läsnäolon perusteella [16, s.1235]. Tutkimuksessa vertailtiin eri ilmanvaihtojärjestelmien energiankulutusta laskennallisesti katselmuksista saatujen läsnäolotietojen ja aikojen perusteella. DCV-CO₂ järjestelmälle minimiilmavirtaa 1 dm³/sm² käynnistyy, kun CO₂-pitoisuus alittaa 700 ppm. Opetustuntien alettua hiilidioksidipitoisuuden taso annetaan nousta 900 ppm, jota ylläpidetään kasvatamalla ilmamäärää 9 dm³/shlö. Tunnin loputtua ja hiilidioksidipitoisuuden laskeuduttua alle 700 ppm, ilmamäärä laskeutuu minimitasolle.

DCV-IR järjestelmä mitoitusilmavirrat oli suunniteltu 30 läsnäolijalle 7 dm³/shlö ja rakennuksen epäpuhtauksille 1,0 dm³/sm². Läsnäoloanturien havaitessa oppilaat, ilmanvaihto toimii mitoitusilmavirralla ja vaihtuu takaisin minimi-ilmavirtaan, kun läsnäolijat poistuvat. DCV-IR ja DCV-CO₂ järjestelmien erona on, että ensimmäinen järjestelmä ei tunnista oppilaiden lukumäärää. Oppilasmäärän ollessa puolet maksimista, toimii järjestelmä silti mitoitusilmavirralla.

Tutkimuksen perusteella keskimääräiseksi oppilasmääräksi luokissa saatiin 22,2 oppilasta suunnittelussa käytetyn mitoitusarvon ollessa 30 henkilöä. Luokkia käytettiin päivittäin ainoastaan kolmesta viiteen tuntiin. DCV-IR järjestelmällä laskettiin energiansäästövaikutuksen olevan 51 % ja DCV-CO₂ järjestelmällä 38 %, kun verrattiin järjestelmiä CAV järjestelmään, kun se on toiminnassa 7:00 – 17:00 välisen ajan.

3.5 Yhteenveto tutkimuksista

Tutkimusten kiinteistöissä tutkittiin energiakorjausmahdollisuuksia ja energiansäästöön johtavia toimenpiteitä. Toimenpiteet ovat melko samanlaisia huolimatta siitä, että rakennuskanta on kirjavaa ja se on peräisin useasta eri maasta. Lähes kaikissa projekteissa onnistuttiin pienentämään energiankulutusta tehdyillä toimenpiteillä. Kaikissa ei tosin panostettu vain kannattaviin toimenpiteisiin, vaan myös innovatiivisiin energiakorjaustoimenpiteisiin. Suomalaista julkisen sektorin peruskorjausten energiavaikutuksia pohitivassa tutkimuksessa energiankulutuslukemat kasvoivat. Syyksi kasvulle luettiin muun muassa ilmamäärien kasvu, kun painovoimaisesta ilmanvaihdosta siirryttiin koneelliseen ilmanvaihtoon, käyttöasteen kasvu, parantuneet sisäilmaolosuhteet ja valmistuskeittien uusitut laitteet. Lähtökohtaisesti kiinteistöissä oli ollut huonot sisäilmasto-olosuhteet, jotka aiheuttivat lämpö- ja sähköenergiankulutuksen kasvua olosuhteiden parantuessa. Lämmönkulutuksessa saavutettuja säästöjä söi usein sähkönkulutuksen kasvu. Kasvu johtuu usein teknisten ratkaisujen muutoksesta sähköintensiivisempään suuntaan.

Energiakorjauksilla saavutettiin myös säästöjä. Toimenpiteet osoittautuivat samankaltaisiksi eri tutkimuksissa. Energiakorjaukset painottuivat kohteisiin, jotka ovat

- rakennusvaipan lisäeristys
- valaistus ja valaistuksen ohjaus sekä luonnonvalon optimointi
- koneellisen ilmanvaihdon lisäys
- ilmanvaihdon tarpeenmukainen säätö ja ohjaus
- lämmön talteenoton lisäys ja
- lämmityksen säätöjärjestelmä.

Rakennuksen ulkovaipan lisäeristys osoittautui suositukseksi energiansäästötoimenpiteeksi. Lämmöneristeet ovat kehittyneet viime vuosikymmeninä, eikä vanhassa rakennuskannassa ole lämmöneristykseen kiinnitetty paljoakaan huomiota, kun energia on ollut edullista.

Ilmanvaihdossa tarpeenmukaisuus ja hyvät sisäilmaolosuhteet olivat monessa projektissa tavoitteena, koska sisäilmaolosuhteet oli havaittu puutteellisiksi. Ilmanvaihdon tarpeenmukaisuutta haluttiin parantaa, jotta ilmamäärien aiheuttama lämmönkulutus saataisiin minimoitua. Ohjausmenetelmät voidaan toteuttaa erilaisilla läsnäolotunnistimilla tai hiilidioksidipitoisuutta mittaavilla antureilla. Riippuen tilan käyttöasteesta, tarpeenmukaisilla ohjauksilla on potentiaalia säästää merkittävästi energiankulutuksesta, niin kuin norjalaisiin kouluihin kohdistuva tutkimus osoittaa.

Ilmanvaihdon lämmönkulutuksen minimointiin auttaa myös lämmön talteenoton lisäys, joilla saavutettava säästö on merkittävä. Lisäys kannattaa toteuttaa varsinkin silloin, kun ilmanvaihtokone uusitaan kokonaan.

Valaistukseen liittyvät energiatehokkaat led-valaisimet ja valaistuksen energiatehokkuus olivat sähköenergiaa säästävien toimenpiteiden joukossa. Luonnonvalon op-

timointi rakennuksen valaisemisessa oli yksi toimenpiteistä. Rakennuksen valaistuksen ohjaaminen luonnonvalon mukaan nousi myös keskeiseksi energiatehokkuutta parantavaksi innovatiiviseksi toimenpiteeksi. Tällä vältetään sähköenergiaa kuluttavan valaistuksen käyttöä.

Energiakorjauksilla saavutettavan säästön suuruus vaihtelee ja riippuu myös kannattavuustekijöistä ja kriteereistä, joiden perusteella päätöksiä tehdään. Tiukkojen takaisinmaksuaikojen puitteissa potentiaalisten energiakorjaustoimenpiteiden määrä pienenee. Kun hyväksytään pidemmät takaisinmaksuajat, voidaan saavuttaa suurempia säästölukemia. Imagoon liittyvät perusteet tulivat myös esille tutkimuksissa. Konkreettiset asiat olivat helpommin perusteltavissa käyttäjille, vaikka kannattavuus perusteet eivät ohjanneetkaan siihen suuntaan. Tällaisilla toimenpiteillä pystyttiin myös helpommin motivoimaan käyttäjiä energiansäästöön.

4 TARKASTELTAVAT KIINTEISTÖT

4.1 Kohde A

Kohde A on 1959 rakennettu 4-kerroksinen koulurakennus. Rakennuksessa sijaitsee keittiö, ruokasali, luokkatiloja ja liikuntasali. Vuonna 1992 rakennus peruskorjattiin ja 2009 vuoden aikana rakennukseen tehtiin lisäosa. Koulussa on ollut lämmitysmuotona öljy, joka on muutettu vuoden 1992 remontin yhteydessä kaukolämmöksi.

Ilmanvaihtokoneina rakennuksessa toimii TK01 - TK09 ja TK11 - TK13 sekä luokkakoneet. Osa rakennuksen ilmanvaihtokoneista on uusittu, mutta vanhoja koneita on edelleen käytössä. Lisäksi rakennuksessa on useita erillispoistoja koulun keittiön yhteydessä. Valvomoon kytkettyjä koneita on ainoastaan TK11 - TK13. Muut ilmanvaihtokoneet ovat ilman automatiikkaa.

Käyttjähaastattelun perusteella rakennuksessa on uudella laajennusosalla liian lämmin ja vanhalla saneeraamattomalla osalla kylmä. Luokkien osalta luokkakoneen läheisyydessä tuntuu vetoa. Talvisin rakennuksen räystäille muodostuu jääpuikkoja, joka viittaa huonohkoon yläpohjan lämmöneristykseen.

Taulukon 4.1 kulutustiedoissa oli aukkoja 2010 ja 2011 vuoden ajalla johtuen mittausten ajankohdasta sekä saneeraustöistä.

Taulukko 4.1 Kohteen A sähkön- ja lämmön ominaiskulutustietoja.

Lämpö (normitettu)	71,8	kWh/m ³
	223,0	kWh/brm ²
Sähkö	17,0	kWh/m ³
	52,8	kWh/brm ²
Yhteensä	88,8	kWh/m ³
	275,7	kWh/brm ²

Rakennuksessa ongelmana on suurehko lämmönkulutuslukema, vaikka saneeraus on juuri valmistunut. Normitettu lämmönkulutuslukema on tarkastelujaksolla 223,0 kWh/brm² tai 71,8 kWh/m³. Sähkön osalta kulutuslukema on 52,8 kWh/brm² tai 17,0 kWh/m³. Lukemat ovat korkeat, kun verrataan kuntaliiton raportin keskiarvoihin koulujen osalta. Raportti antaa lämmön ominaiskulutukseksi 44,9 kWh/m³ ja sähkönkulutukseksi 13,7 kWh/m³ [5, s.22]. Energian kulutuslukemat ovat siis selkeästi keskiarvon yläpuolella.

4.2 Kohde B

Kohde B on vanha 1900-luvun alussa valmistunut rakennus. Rakennuksen seinärakenteet ovat punatiiltä ja seinäpaksuus on noin 65 cm. Rakennuksessa on yksikerroksinen iso kokoontumistila, jossa pidetään konsertteja ja messuja. Toisessa päässä rakennusta sijaitsevat kolmessa kerroksessa toimistotilat, klubi ja sosiaalitilat. Lämmöneristyksistä ei ole tarkkaa tietoa. Saliosan lattiassa, seinän vierustoilla, on EPS-eristettä 100 mm paksuudelta. Lattian keskiosalla on eristeetön alue. Ikkunat ovat 2-lasiset ja teknisen käyttöön päässä.

Kohdekäynnillä todettiin rakennuksen olevan lähes ympärivuorokautisessa käytössä. Klubissa sijaitsee keittiö, johon työntekijät tulevat aikaisin aamulla. Klubitilat ovat käytössä iltaisin baarien sulkemisaikaan kello 04:00 asti. Toimistotilat ovat käytössä päivisin 8 - 16. Kokoontumistilassa on konsertteja iltaisin ja yöhön asti myös arkisin.

Ilmanvaihtokoneet TK06 klubin ja TK04 salin osalta on saneerattu vuosina 2000 ja 2007. Koneissa on valvomoon kytketty automatiikka, lämmön talteenotto ja taajuusmuuttajilla varustetut puhaltimet. TK04 ohjaus tapahtui pääasiassa tilassa olevan kytkimellä, jonka avulla tilan käyttäjät laittavat ilmanvaihdon päälle. Salin tiloja aikaisemmin palvelleet ilmanvaihtokoneet TK01 ja TK02 jäivät ilmanvaihtokonehuoneeseen. TK01 toimii aulan ilmanvaihtokoneena ja vanhaa ilmanvaihtokonetta TK02 käytetään kiertoilmakoneena ilman lämmittämiseen. Rakennuksessa on lisäksi kellaritiloja palveleva TK03 ja toimistoja palveleva TK05. Lisäksi rakennuksessa on myös erillispoistoja wc-tiloista.

Lämmitysverkosto kohteessa on vanha ja runkoputket ovat suuria teräsputkia. Lämmityspatterit ovat konvektoreita, joissa on yksi patteriventtiili huonetta kohti. Kaikissa lämmityspattereissa patteriventtiilejä ei ollut ollenkaan. Konserttisalin osalta lämmitys hoidetaan pääasiassa lattialämmityksellä. Huoltomiehen haastattelun perusteella toisen kerroksen toimistotiloissa on talvisin kylmä, jolloin huoneissa on mitattu 16 °C lämpötiloja.

Lämmönjakohuoneessa osa kaukolämmön siirtimistä oli uusittu 90-luvulla, mutta yksi vanha putkisiirrin oli vielä käytössä patteriverkoston lämmönsiirtimenä. Samoin pumpput olivat patteriverkoston osalta samalta aikakaudelta. Lämmönjakohuoneessa vanhat putket olivat jääneet eristämättä.

Kiinteistön ominaiskulutuslukemat ovat suuria, kun verrataan niitä Kuntaliiton raportin kokoontumisrakennusten tietoihin. Kulutuslukemissa oli puutteita 2011 ja 2010 vuoden osalta ja sitä aikaisempien vuosien lämmönkulutusprofiili vuoden aikana oli joka kuukausi vuodenaikasta riippumatta samansuuruinen. Sähkönkulutuksessa ei juuri ollut eroja päivän ja yön välillä. Taulukossa 4.2 on saatu rakennuksen ominaiskulutukseksi lämmön osalta 45,4 kWh/m³ ja sähkön osalta 24,1 kWh/m³.

Taulukko 4.2 Kohteen B kiinteistön lämmön ja sähkön kulutustietoja.

Lämpö (normitettu)	45,4	kWh/m ³
	248,1	kWh/brm ²
Sähkö	24,1	kWh/m ³
	131,6	kWh/brm ²
Yhteensä	69,5	kWh/m ³
	379,7	kWh/brm ²

Kuntaliiton raportti antaa kokoontumistiloille vastaaviksi arvoiksi lämmölle 38,1 kWh/rm³ ja sähkölle 20,1 kWh/rm³. Kulutuslukemat ovat siis keskiarvoa korkeampia. Veden kulutustietoja ei ollut saatavilla pyynnöistä huolimatta.

5 LÄHTÖTIEDOT

5.1 Kohteiden lähtötiedot

Lähtötietoja kerättiin kohdekäyntien yhteydessä ja piirustuksista. Olemassa olevan tiedon puutteellisuuden vuoksi laskelmissa jouduttiin tekemään useita oletuksia ja karkeita arvioita.

Taulukosta 5.1 voidaan nähdä kohteen A laskennan lähtötiedot.

Taulukko 5.1. Kohteen A energiankulutuksen laskennan lähtötiedot.

Tilavuus		29600	m ³
Bruttoala		9530	brm ²
Säätiedot		II vyöhyke (d5)	
Sijainti		Tampere	
Vuotokerroin		0,28 (n ₅₀ =7)	1/h
Viikoittainen käyttöaikasuhte		5/7	vrk/7vrk
Vuorokautinen käyttöaikasuhte		10/24	h/ 24h
Lämmitysmuoto		kaukolämpö	
Lämmönjakomuoto		vesikiertoinen patteri-lämmitys	
veden ominaislämpökapasiteetti		4200	Ws/kgK
veden tiheys		1000	kg/m ³
ilman ominaislämpökapasiteetti		1000	Ws/kgK
ilman tiheys		1,2	kg/m ³
U-arvot			
Yläpohja		0,60	W/m ² K
Alapohja		0,85	W/m ² K
Ulkoseinät	Vanha	0,60	W/m ² K
	Saneeraus	0,23	W/m ² K
	Maan vastainen	0,48	W/m ² K
Ikkuna		2,0	W/m ² K
Ovi		2,0	W/m ² K

Lämpötilat			
Luokkatilat		21	°C
Sali		18	°C
Henkilömäärä		330	oppilasta
Vedenkulutus		200	dm ³ /brm ²

Taulukossa 5.2 nähdään kohteen A IV-koneiden lähtötiedot.

Taulukko 5.2. Kohteen A ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot.

IV-kone	Lukumäärä (kpl)	Ilmamäärä [m ³ /s]	LTO:n lämpötilasuhde
TK1	1	1,0	-
TK2	1	1,0	-
TK3	1	1,0	-
TK4	1	0,5	-
TK5	1	1,0	-
TK6	1	5,2	0,8
TK7	1	1,0	-
TK8	1	1,0	-
TK9	1	0,5	-
TK11	1	1,4	0,8
TK12	1	1,3	-
TK13	1	0,5	-
Luokkakone 1	16	0,25	0,8
Luokkakone 2	5	0,17	0,8
TK14	3	0,25	0,8

Taulukosta 5.3 voidaan nähdä kohteen B laskennan lähtötiedot. Kiinteistö on vanha, eikä todellisista rakenteista ollut tarkkaa tietoa. Piirustuksien perusteella arvioitiin rakennuksen vaipan rakenteita.

Taulukko 5.3. Kohteen B kiinteistön energiankulutuksen laskennan lähtötiedot.

Tilavuus		10300	m ³
Bruttoala		2890	brm ²
Rakennuksen tehollinen lämpökapasiteetti		200	Wh/K
Vuotokerroin		0,28 (n ₅₀ =7)	1/h
Viikoittainen käyttöaikasuhte		7/7	vrk/7vrk
Vuorokautinen käyttöaikasuhte		18/24	h/ 24h

Säätiedot		II vyöhyke (d5)	
Sijainti		Tampere	
Lämmitysmuoto		kaukolämpö	
Lämmönjakomuoto		vesikiertoinen patteri- ja lattia- lämmitys	
U-arvot			
Ikkuna		2,5	W/m ² K
Ovi		1,5	W/m ² K
Ulkoseinä		0,63	W/m ² K
Ulkoseinä	Maan vastainen	0,3	W/m ² K
Yläpohja		0,4	W/m ² K
Alapohja	Toimistot	0,85	W/m ² K
	Sali	2,4	W/m ² K
Lämpötilat			
Toimistotilat ja klubi		21	°C
Sali		18	°C
Lämpökuormat			
Henkilömäärä	1.krs	100	hlö
		150	W/hlö
	2.krs	15	hlö
		100	W/hlö
	Sali	470	hlö
		150	W/hlö
Sähkölaitteet ja valaistus		79	kWh/brm ² /a
Rakennukseen tuleva auringon säteilyenergia			
Säteilyn läpäisyn kokonaiskorjauskerroin	F _{läpäisy}	0,75	
Kokonaissäteilyn läpäisykerroin	g	0,765	
Vedenkulutus		700	m ³ /a
Käyttöveden lämpöenergiähäviöt		9	kWh/brm ² /a
Käyttöveden lämmityksen nettoenergiatarve		14	kWh/brm ² /a
Lämmitystilojen häviöt		31	kWh/brm ² /a

Taulukossa 5.4 nähdään kohteen B ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot.

Taulukko 5.4. Kohteen B ilmanvaihtokoneiden lähtötiedot.

IV-kone	Lukumäärä (kpl)	Ilmamäärä [m ³ /s]	LTO:n lämpötilasuhde
TK1	1	1,7	-
TK3	1	0,5	-
TK4	1	7,0	0,8
TK5	1	0,7	-
TK6	1	2,0	0,8

Lähtötietojen osalta jouduttiin turvautumaan D5 (2007) laskentaohjeen arvioihin paremman tiedon puutteessa. Vedenkulutusta arvioitiin rakennuksessa olevien erilaisien tilatyyppejen, kuten ravintola ja toimistotila, perusteella. Sen perusteella saatiin arvio, mitä käytettiin laskelmissa.

5.2 Laskentamenetelmät

Energiansäästötoimenpiteiden laskentaan käytettiin Motivan kehittämää energiakatselmoijille suunnattua Motiwatti ohjelmaa, jolla laskettiin IV-koneiden energiankulutusta. Rakennuksen energiankulutuksen laskennassa käytettiin D5 laskentaohjeen lämpöhäviöiden laskentamenetelmää.

5.2.1 Motiwatti laskentaohjelma

Motiwatti laskentaohjelma on energiakatselmoijille luotu helppokäyttöinen työkalu rakennusten energiansäästötoimenpiteiden laskemiseen. Ohjelman laskenta perustuu pääosin D5 rakennusmääräyskokoelman energiankulutuksen laskentamalliin. Poikkeamat löytyvät ilmanvaihdon lämpöenergialaskennasta ja ikkunoiden aurinkoenergianlaskennasta, joissa on käytetty EN832 standardin mukaista laskentamallia.

6 LASKENTAMALLIEN TAUSTA

6.1 Energiankulutuksen laskenta rakennusmääräyskoelman ohjeella D5

Rakentamisen yhtenä tavoitteena on tuottaa rakennuksia, joissa on terveellinen ja viihtyisä sisäilmasto [17, s.59]. Sisäilmaston yhtenä osana rakennuksissa on sopivat lämpöolot. Lämpöoloihin vaikuttaa merkittävästi ulkolämpötila, joka vaihtelee vuodenajan sekä maantieteellisen sijainnin mukaan. Lisäksi rakennuksen tilojen käyttötarkoitus vaikuttaa tavoiteltaviin lämpötilatasoihin.

Rakennusten lämmitystarve muodostuu useasta tekijästä. Lämpöhäviöitä muodostuu rakennuksen eri rakenneosien läpi johtuvasta lämpövirrasta, ilmanvaihdosta, rakennusosien liitoksista vuotavasta vuotoilmasta sekä lämpimän veden tarpeesta. Lämmitystarvetta vähentää rakennuksessa muodostuvat ilmaisenergiat. Ilmaisenergioita muodostuu sähkölaitteista, ihmisistä, ikkunoiden kautta rakennukseen tulevasta auringon säteilyenergiasta, lämmitysjärjestelmän tuottamasta lämpökuormasta sekä käyttövedestä rakennuksen sisälle vapautuvasta energiasta.

6.1.1 Johtuminen

Rakennuksessa lämmön johtuminen tapahtuu seinien, yläpohjan, alapohjan sekä ovien ja ikkunoiden kautta. Rakennusosien U-arvoille on määräyksen määritellyt minimiarvot rakennusmääräyskokoelmassa.

Rakennuksen rakennusosien läpi johtuva lämpöenergia voidaan laskea kaavalla

$$Q_{\text{johtuminen}} = \sum UA(T_s - T_u)\Delta t / 1000 \quad (1),$$

missä U on rakennusosan lämmönläpäisykerroin eli U-arvo [W/m²K], A rakennusosan pinta [m²], T_s lämmitettävän tilan lämpötila [K], T_u ulkolämpötila tarkastelujaksona [K], t tarkastelujakson pituus [h] [8, s.18]. Johtumishäviöiden suuruuteen pyritään vaikuttamaan pääasiassa minimoimalla lämmönläpäisykertoimen arvo. Tämä voidaan saavuttaa käyttämällä tehokkaampia eristeitä seinä rakenteissa tai lisäämällä eristyspaksumuutta.

Suomessa ikkunat ovat lämmönjohtavuudeltaan selvästi rakennuksen vaipan heikoin kohta. Rakennusta suunniteltaessa ikkunoiden koko pyritään pitämään kohtuullisena ja tarvittaessa minimoimaan epäedullisen pinta-alan suuruus. Ikkunoiden vaikutusta lämmöntarpeeseen voidaan pienentää suuntaamalla suuriosa ikkunapinta-alasta etelään, jolloin auringonsäteilyä saadaan hyödynnettyä optimaalisesti. Tämä tosin kas-

vattaa kesäisin jäähdytystarvetta. Erilaisilla kaihdin-, verho-, markiisiratkaisuilla voidaan pienentää kesällä rakennukseen sisääntulevaa auringon säteilyä.

6.1.2 Ilmanvaihto

Rakennuksen lämmitystarpeeseen vaikuttaa myös merkittävästi ilmanvaihto. Ilmanvaihdon tuloilma otetaan ulkoilman lämpötilassa ja lämmitetään ilmanvaihtokoneen lämmityspatterilla sopivaan lämpötilaan. Tilaan tuotavan tuloilman lämpötila on yleensä 15 - 18 °C. Joissakin järjestelmissä tuloilma tulee rakennukseen suoraan ulkolämpötilassa. Tällaisia järjestelmiä ovat painovoimainen ilmanvaihto ja koneellinen poistoilmanvaihto, jossa tuloilma tulee suoraan huoneisiin korvausilmaventtiileistä tai lattianrajoista.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa käytetään usein lämmön talteenottoa, jossa poistoilmasta otetaan lämpö talteen. Poistoilmasta otettu lämpö lämmittää lämmönsiirtimen välityksellä tuloilmaa tai varaajan vettä. Ilmanvaihdon jäteilmasta saadaan talteen noin 50 % lämpöenergiasta lämmön talteenottopatterin tyypistä riippuen. Ilmavirran lämmitystarve voidaan laskea kaavasta

$$Q_{iv} = \Sigma(H_{iv}(T_s - T_u)\Delta t)/1000 \quad (2),$$

missä T_s on sisälämpötila [K], T_u ulkolämpötila [K] ja H_{iv} ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö [W/K]. Ilmanvaihdon ominaislämpöhäviö saadaan kaavasta

$$H_{iv} = \rho_i c_{pi} q_{v,poisto} t_d^* r t_v^* (1 - \eta_a) \quad (3),$$

missä c_{pi} on ilman ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK], ρ_i ilman tiheys [kg/m³], $q_{v,poisto}$ poistoilmavirta [m³/s], t_d^* ilmanvaihtolaitoksen keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [h/24h], r muuntokerroin, t_v^* ilmanvaihtolaitoksen viikoittainen käyntiaikasuhde [vrk/7vrk] ja η_a lämmön talteenoton vuosihyötysuhde. Lämmön talteenoton hyötysuhde riippuu lämmönsiirintyyppistä ja käyttöajoista. Jos valmistajan vuosihyötysuhdetta ei ole tiedossa, voidaan sitä arvioida kaavalla

$$\eta_a = 0,6\eta_t \quad (4),$$

missä η_t on lämpötilasuhde [8, s.22]. Lämpötilasuhteen arvoksi voidaan arvioida lämmönsiirtimen tyypistä riippuen 0,5 - 0,8 [6, s.103].

Ilmanvaihdon lämmön talteenotolla talteenotettu lämpöenergia saadaan kaavasta

$$Q_{LTO} = Q_{iv,ei LTO} - Q_{iv} \quad (5),$$

missä $Q_{iv,ei LTO}$ on ilmanvaihdon lämmitysenergiankulutus ilman lämmön talteenottoa [kWh]. Se saadaan kaavalla 2, kun η_a on 0.

6.1.3 Vuotoilma

Rakennukseen muodostuu lämmitystarvetta myös vuotoilmahäviöistä. Ilmavuotojen suuruuden epävarmuus on laskennassa suuri, koska vuotojen suuruutta on vaikea mitata tai laskea. Sen suuruudesta on esitetty arvioita kirjallisuudessa.

Vuotoilman suuruuteen rakennuksen energiankulutuksessa vaikuttaa rakennuksen tiiviys. Tiiviyteen ei aikaisempina vuosikymmeninä kiinnitetty paljonkaan huomiota, mutta sen merkitys on kasvanut, kun halutaan ottaa kaikki energiansäästöpotentiaali käyttöön. Tiiviyden parantaminen monimutkaistaa rakenteita ja luo haasteita rakenteiden kosteustekniseen toimivuuteen. Kosteuden hallittu siirtyminen pois rakenteista ja sisäilmasta on tärkeää. Tiivistä ja energiatehokasta rakennusta suunniteltaessa joudutaan kiinnittämään enemmän huomiota yksityiskohtiin, kuten rakennusvaipan läpivienteihin, mitä tiiviimmäksi rakennus tehdään. Tiiviyteen vaikuttaviin tekijöihin kuuluvat ilman reitit rakennuksen sisällä, läpivientien tiiviys, lämpötilat ja rakennuksen korkeus. Nämä vaikuttavat vuotoilman suuruuteen. Lisäksi poisto- ja tuloilmamäärien suhteet aiheuttavat korvausilman virtaamista rakennukseen raoista ja rei'istä. Poisto- ja tuloilmamäärien suhde on suunnittelussa yleensä 1,1. Rakennus suunnitellaan alipaineiseksi, jolloin poistoilmamäärän osuus on suurempi, kuin tuloilmamäärän. Ilmavuotojen muodostama lämmitystarve voidaan laskea kaavalla

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma}(T_s - T_u)\Delta t/1000 \quad (6),$$

missä $H_{vuotoilma}$ vuotoilman ominaislämpöhäviö [W/K]. Vuotoilman ominaislämpöhäviö saadaan kaavalla

$$H_{vuotoilma} = \rho_i c_{pi} q_{v,vuotoilma} \quad (7),$$

missä $q_{v,vuotoilma}$ on vuotoilmavirta [m^3/s]. Vuotoilmavirtaa voidaan arvioida kaavalla

$$q_{v,vuotoilma} = n_{vuotoilma} V/3600 \quad (8),$$

missä $n_{vuotoilma}$ on rakennuksen vuotoilmakerroin [$1/h$] ja V on rakennuksen ilmatilavuus [m^3] [8, s.20]. Ilmavuodot riippuvat rakennuksen tiiviydestä, tuulioloista sekä korkeudesta [6, s.103]. Rakennuksen viimeistelyllä on tiiviyteen suuri vaikutus ja vuotoilmakerroin saattaa vaihdella merkittävästi. Vuotoilmakerrointa voidaan arvioida kaavalla

$$n_{vuotoilma} = n_{50}/25 \quad (9),$$

missä n_{50} on rakennuksen vaipan ilmanvuotoluku [$1/h$], kun paine-ero on 50 Pa [8, s.21]. Vaipan ilmanvuotoluvulle on taulukoitu arvoja vanhemmille rakennuksille rakennusvuoden perusteella [32, s.11].

6.1.4 Sisäiset lämpökuormat

Rakennuksessa syntyvät lämpökuormat syntyvät siellä tapahtuvasta toiminnasta, laitteista ja vuodenajan olosuhteista. Ne vähentävät tilojen lämmitystarvetta lämmityskaudella ja aiheuttavat jäähdytystarvetta sen ulkopuolella.

Osa lämmitystarpeesta syntyy ihmisten huoneeseen luovuttamasta lämpöenergiasta. Aineenvaihdunta tuottaa lämpöä $58,2 \text{ W/m}^2$. Keskikokoisella ihmisellä tämä vastaa 105 W lämpötehoa, kun istutaan. Raskas työ aiheuttaa lämpötehon 2 – 3 kertaistumisen [6, s.9].

Tilojen lämmityslaitteista, säädöstä, lämmönjakoputkista ja lämmönluovuttimisista jää rakennukseen lämpötehoa. Putket eristetään, mutta eristyksestä huolimatta häviöitä syntyy. Lisäksi varaajien vedestä katoaa lämpöä rakennukseen.

Sähkölaitteiden ja valaistuksen merkitys rakennuksen lämpökuormista on suuri. Valaistuksessa lähes kaikki sähköenergia muuntuu lämpöenergiaksi. Toimistoissa tietokoneet muodostavat suuren osan sähkölaitteiden tuomasta lämpökuormasta ja se onkin otettava huomioon rakennustyyppikohtaisesti. Muiden laitteiden kohdalla lämpökuorman suuruus kannattaa tarkastella laitekohtaisesti. Kesäisin suuret sisäiset lämpökuormat aiheuttavat jäähdytystarvetta.

Auringon säteilyn aiheuttama lämpökuorma saadaan hyödynnettyä parhaiten suuntaamalla rakennuksen ikkunat eteläiselle julkisivulle, jolla auringon säteilyteho on suurimmillaan. Auringonpaiste aiheuttaa merkittävää jäähdytystarvetta kesäisin. Jäähdytystehon tarvetta voidaan pienentää erilaisilla julkisivuratkaisuilla. Myös markiiseilla ja kaihtimilla on jäähdytystehoa pienentävä vaikutus. Lämpökuormien yhteenlaskettu suuruus saadaan kaavalla

$$Q_{\text{lämpökuorma}} = Q_{\text{henk}} + Q_{\text{lämmitys,kuorma}} + Q_{\text{lkv,kuorma}} + Q_{\text{säh}} + Q_{\text{aur}} \quad (10),$$

missä Q_{henk} on ihmisistä syntyvä lämpöenergia [kWh], $Q_{\text{lämmitys,kuorma}}$ tilojen lämmitysjärjestelmistä rakennukseen varastoituva lämpöenergia [kWh], $Q_{\text{lkv,kuorma}}$ käyttöveden lämmityksestä rakennukseen varastoituva lämpöenergia [kWh], $Q_{\text{säh}}$ sähkölaitteiden aiheuttama lämpöenergian kasvu [kWh] ja Q_{aur} huomioi auringon säteilyn aiheuttaman lämmityksen [kWh]. Kaava 11 huomioi hyödynnettävissä olevan lämpöenergian määrän

$$Q_{\text{sis.lämpö}} = \eta_{\text{lämpö}} Q_{\text{lämpökuorma}} \quad (11),$$

missä $\eta_{\text{lämpö}}$ on lämpökuormien kuukausittainen hyödyntämisaste [8, s.47]. D5 ohjeessa on esitetty tarkemmin hyödyntämisasteen laskentaa liittyvät kaavat ja termit.

6.1.5 Käyttövesi

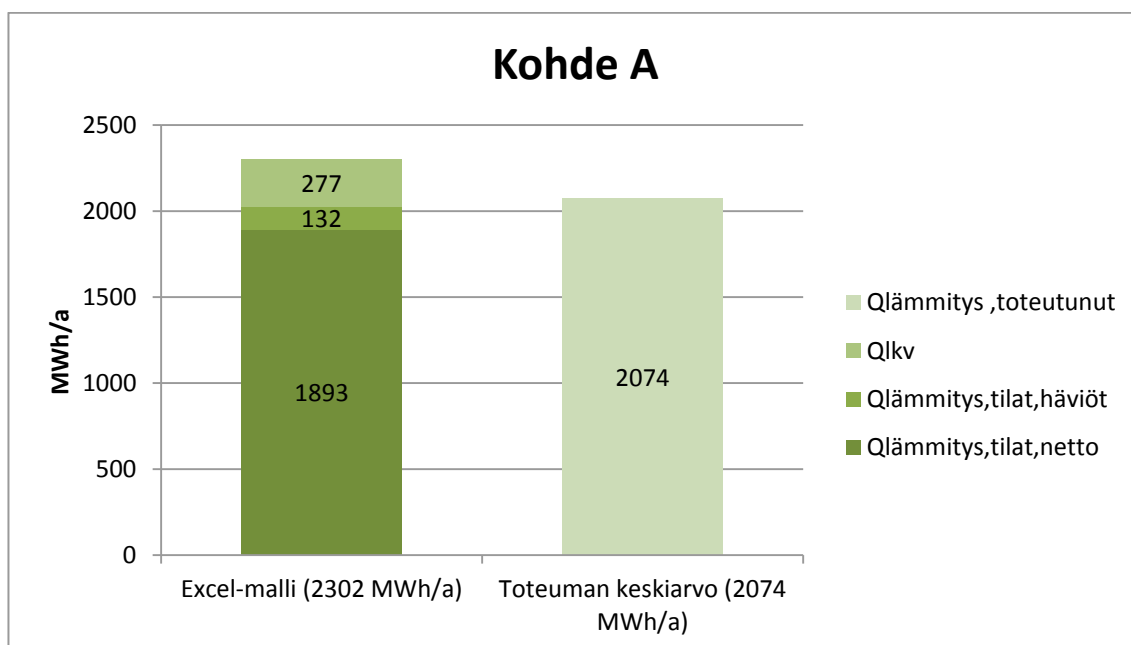
Rakennuksen lämpimän käyttöveden lämmittämisestä muodostuu myös lämpöhäviöitä. Pieni osa käyttöveden lämpöenergiasta jää huoneisiin, kuitenkin suurinosa kulkeutuu viemäriin. Lämminvesi tuotetaan rakennuksen lämminvesivaraajassa, jossa noin viisi asteinen kylmävesijohtovesi lämmitetään 55 – 60 °C. Lämminvesi pitää lämmittää vähintään lämpötilaan 55 °C legionella-bakteerin lisääntymisen estämiseksi. Lämpimän veden energiankulutusta voidaan arvioida kaavalla

$$Q_{lkv} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (\Delta T) \Delta t / 3600 \quad (12),$$

missä c_{pv} on veden ominaislämpökapasiteetti [Ws/kgK], ρ_v veden tiheys [kg/m³], V_{lkv} lämpimän veden kulutus [m³], ΔT on T_{lv} lämpimän veden lämpötilan [°C] ja T_{kv} kylmän veden lämpötilan erotus [°C] [8, s.26]. Lämpimän veden kulutusta on vaikea arvioida. D5 ohjeessa on esitetty arvioita lämpimän veden ominaiskulutuksista eri rakennustyypeille.

6.2 Excel-mallien tulokset

Rakennuksista tehtiin lähtötietoihin pohjautuen D5 laskentaohjeen (2007) mukainen laskentamalli rakennuksen energiankulutuksesta. Taulukossa 6.1 on esitetty tarkasteltujen kiinteistöjen laskennallinen energiankulutus.

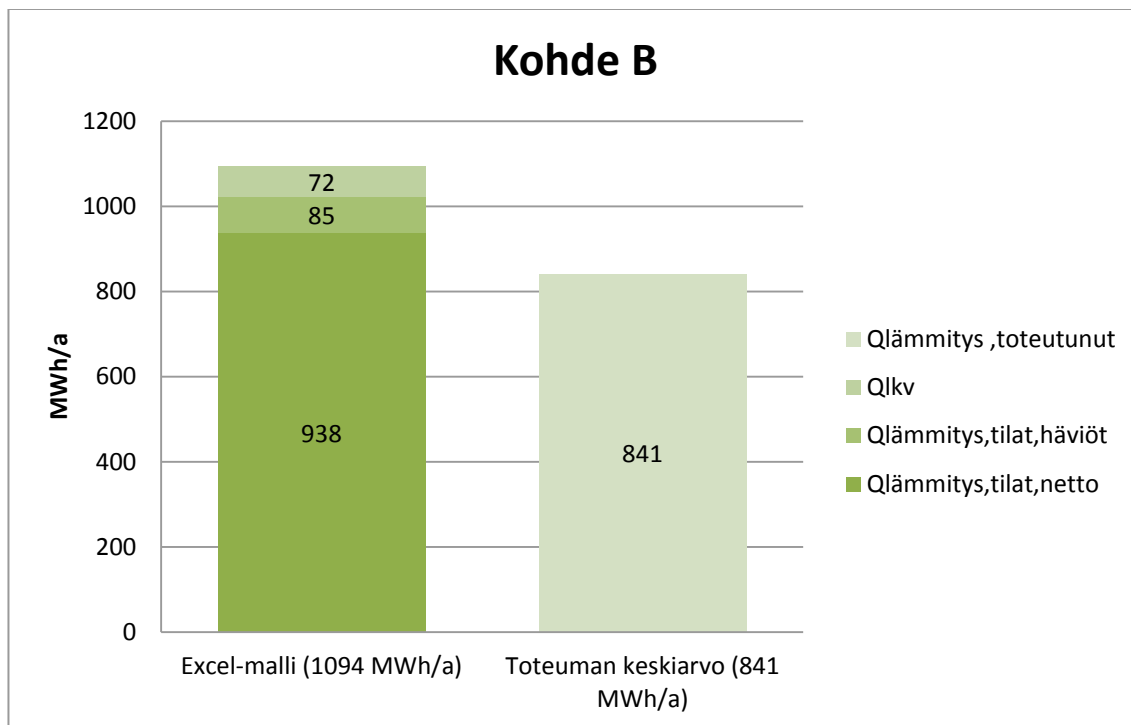


Kuva 6.1 Kohteen A laskennallinen energiankulutus ja aikaisempien vuosien toteutuneiden energiankulutuksen keskiarvo.

Laskennalliseksi energiankulutukseksi vuodessa rakennukselle kertyy 2302 MWh/a. Kaukolämmön kulutusten keskiarvo rakennuksessa oli 2074 MWh/a. Toteutunut ener-

giansyöy on hieman suurempi. Epätarkkuutta aiheuttaa olemassa olevien tietojen puutteellisuus rakennuksen rakenteiden osalta ja osittain myös ilmanvaihdon osalta. Rakennuksen ilmatiiviyden suhteen jouduttiin tekemään myös oletuksia.

Kuvassa 6.2 on kohteen B kiinteistön toteutunut ja laskennallinen energiansyöy.



Kuva 6.2 Kohteen B laskennallinen energiansyöy ja aikaisempien vuosien toteutuneiden energiansyöyn keskiarvo.

Kohteen B kiinteistön osalta rakennuksen ikä aiheuttaa epävarmuutta laskentatiedoissa. Lisäksi salin suuresti vaihtelevaa käyttäjämäärää ja oleskeluaikoja on vaikea arvioida. Epävarmuutta aiheuttaa myös vanhoista vaipparakenteista saatavissa olevat tiedot. Oletuksia jouduttiin tekemään ilmatiiviyden osalta, joka jouduttiin olettamaan taulukoidun arvon mukaiseksi. Excel-mallin antamaksi energiansyöyksi saatiin 1094 MWh/a. Kaukolämmön kulutusten keskiarvoksi saatiin 841 MWh/a. Arvo on selkeästi pienempi kuin laskennallinen lukema. Toteutuneissa kulutuksissa oli epävarmuutta ja vuosittaiset energiansyöyt vaihtelivat suuresti.

7 KANNATTAVUUS

7.1 Takaisinmaksuaika

Takaisinmaksuaika on energiatalouden kannattavuuden laskennassa yleisesti käytetty laskentatapa. Menetelmä kertoo sen ajan, jonka kuluessa investoinnin nettotuotot ylittävät perushankintakustannukset [18, s.205]. Se sopii investoinnin rahoitusvaikutusten tarkasteluun tilanteissa, joissa tuottojen kertymistä pitkän ajan kuluessa on vaikea ennakoita. Kaavalla 13 voidaan laskea koroton takaisinmaksuaika.

$$t_{ta, koroton} = \frac{H_{investointi}}{H_{tuotto, vuodessa}} \quad (13),$$

missä $H_{investointi}$ on investointiin käytetty summa [€] ja $H_{tuotto, vuodessa}$ investoinnista seurannut kustannusten säästö eli investoinnin nettotuotto [€/a]. Korollisen maksuajan laskennassa takaisinmaksuaika saadaan käyttämällä hyödyksi jaksollisten suoritusten nykyarvotekijää. Kaavalla 14 voidaan laskea taulukoita hyödyntämällä korollinen takaisinmaksuaika

$$K * H_{tuotto, vuodessa} - H_{investointi} = 0 \quad (14),$$

missä K on jaksollisten suoritusten nykyarvotekijä. Jaksollisten suoritusten nykyarvotekijä voidaan laskea kaavalla 15

$$K = \frac{(1+i)^{t_{ni}-1}}{i*(1+i)^{t_{ni}}} \quad (15),$$

missä i on korkokanta ja t_{ni} aika vuosina. Kun korkokanta tiedetään, voidaan, esimerkiksi taulukosta lukea vastaava t_{ni} . Se kertoo korollisen takaisinmaksuajan investoinnille. Takaisinmaksuajan menetelmässä ne investoinnit kannattaa suorittaa, joista investoitu pääoma kertyy takaisin kohtuullisessa ajassa [18, s.206]. Sopivan takaisinmaksuajan pituuteen vaikuttavat monet tekijät kiinteistö- ja rakennusosalalla.

Kannattavan investoinnin arvioinnissa on hyvä ottaa huomioon seuraavat asiat:

- takaisinmaksuaika
- laitteen tai järjestelmän käyttöikä
- saneerausten tai peruskorjausten ajankohta tulevaisuudessa

- ja käyttötarkoituksen muutos.

Saneerausten ja peruskorjausten ajankohdalla on suuri merkitys investoinnin takaisinmaksuajan sopivaan pituuteen. Saneeraukset ja peruskorjaukset tapahtuvat 20 – 25 vuoden sykleissä, joista joka toinen on laajempi peruskorjaus. Tiedossa oleva saneeraus tai peruskorjaus usein estää investointien tekemisen, jolloin ne hylätään tai otetaan huomioon muuhun kiinteistöön tehtävien toimenpiteiden yhteydessä. Saneeraukset ja korjaustoimenpiteet häiritsevät usein kiinteistön normaalia toimintaa, minkä takia pakollisen remontin yhteydessä hoidetaan mieluiten järjestelmien korjaukset. Hyvin hoidettuina jotkin järjestelmät saattavat toimia pidempäänkin, jolloin korjaustoimenpiteet saatetaan suorittaa omana korjauksenaan tarpeen vaatiessa.

LVI-laitteiden tekninen käyttöikä vaikuttaa myös investointien päätöksentekoon. Järjestelmän käyttöikä on monesti lyhyempi kuin muun rakennuksen, jolloin teknisten järjestelmien riittävän toiminnan takaamiseksi on laitteistojen uusiminen pakollista. Uusimisten yhteydessä tehdään usein myös käyttöiän loppupäässä olevien laitteistojen uusintaa. Suunnitellun käyttöiän potentiaalin käyttämättä jättäminen heikentää investoinnin alkuperäistä kannattavuutta, mutta yhtäaikaista saneeraustöitä pidetään järkevinä muista syistä. Eräs takaisinmaksuaikojen pituuksien luokittelutapa nähdään taulukosta 7.1.

Taulukko 7.1. Takaisinmaksuaikojen mielekkyys, kun otetaan huomioon investoinnin käyttöikä [19, s.47].

	Käyttöikä	
	10 v.	20 v.
	Takaisinmaksuaika [vuosi]	
1. Heti toteutettava	< 1	< 5
2. Hyvin sopiva	1 - 2	5 - 8
3. Sopiva	2 - 5	8 - 12
4. Mahdollinen	5 - 10	12 - 20
5. Ei toivottava	> 10	> 20

Pienekköjen laiteinvestointeja laskettaessa otetaan huomioon 10 vuoden käyttöikä, koska pidemmällä ajanjaksolla kannattavuuden ennustettavuus heikkenee ja saneerausten sekä peruskorjausten ajankohdat tulevat lähelle. Suurempien investointien kuten lämmitysmuodon takaisinmaksuaikaa tarkasteltaessa otetaan huomioon 20 vuoden käyttöikä. Kun käyttöikä on noin 10 vuotta, alle kahden vuoden takaisinmaksuaikaa pidetään pienenä eli suositeltavan toimenpiteenä. Myös 2 - 5 vuoden väliä pidetään sopivana takaisinmaksuaikana. 5 - 10 vuoden välille sijoittuvat toimenpiteet kannattaa ottaa huomioon. Yli 10 vuoden takaisinmaksuajan investointeja ei voi pitää enää kovinkaan kannattavina.

8 ENERGIAANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET

8.1 Tarpeenmukainen ilmanvaihto

Tarpeenmukainen ilmanvaihto on osa energiaa säästävää talotekniikkaa. Järjestelmästä riippumatta ajatuksena on pitää hyvät sisäilmasto-olosuhteet energiatehokkaasti käyttöä vastaavin ilmamäärin. Tämä tarkoittaa usein automaation lisäämistä ilmanvaihtojärjestelmiin mitta- ja säätölaitteiden muodossa. Tarpeenmukaisuuteen voidaan myös vaikuttaa muillakin suunnittelusuureilla.

Rakennus voidaan jakaa useisiin osiin käyttötarkoituksen perusteella, jolloin minimoidaan turha käyttö. Muita keinoja voi olla ilmamäärien tarkastaminen sekä ilmanvaihtokoneiden käyttöaikojen asettaminen tilankäyttöä vastaavaksi. Ilmamäärien ja käyntiaikojen minimointi vähentää tilan turhaa lämmitystä ja ilmanvaihtoa. Samalla säästyy puhaltimien kuluttamaa sähköenergiaa.

8.1.1 Ilmamäärät

Ilmamäärillä on suuri vaikutus energiankulutukseen. Energiankulutusta minimoitaessa käytetään minimi-ilmamääriä eli ilmamääriä, jotka ovat määräysten puitteissa sallittuja. Sisäilmastoluokituksessa on ilmamäärille erilaisia suosituksia tilan vaatimustasosta riipuen.

Sisäilmastoluokituksen avulla on sisäilmastolle luotu korkeampia tavoitteita sisäilmaston laatutason parantamiseksi. Erityyppisillä tiloilla on erilaiset vaatimukset ilmanpuhtauden osalta ja se on otettu huomioon määräysten ilmamäärissä. Sisäilmaluokitus jakautuu kolmeen eri luokkaan S1, S2 ja S3. S1 luokalla on tiukin vaatimustaso ja S3 luokitus vastaa rakennusmääräyskokoelman D2 ohjeessa suositeltavia tavoitteita. Taulukossa 8.1 on esitetty eri luokkien vaatimuksia erityyppisille tiloille.

Taulukko 8.1 Tiloille osoitettuja ilmamääriä luokittain [20, s.14].

Tila	Lattia-ala	S1-luokka		S2-luokka		S3-luokka/D2	
	m ² /hlö	dm ³ /s/ hlö	dm ³ /s/ m ²	dm ³ /s/ hlö	dm ³ /s/ m ²	dm ³ /s/ hlö	dm ³ /s/ m ²
Luokkahuone	2	11	5,5	8	4,0	6	3,0
Taukotila	1,5	11	7,0	8	5,0		5,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5	6	2,5
Liiketila	6	13	2,5	10	2,0		2,0

Ilmamäärät nousevat siirryttäessä S3 luokasta S1 luokkaan 1,5 – 2 kertaisiksi oli mitoitusperusteena sitten $\text{dm}^3/\text{s}/\text{hlö}$ tai $\text{dm}^3/\text{s}/\text{m}^2$. Joidenkin tilojen kohdalla mitoitusarvot pysyvät samalla tasolla.

8.1.2 Ilmanvaihdon vyöhykkeet

Vyöhykkeiden muodostaminen rakennuksen tilojen käytön ja vaatimusten perusteella voi sisältää energiansäästöpotentiaalia. Säästö muodostuu tilojen käytön yhtenevyydestä. Käyntiaikojen samankaltaisuus minimoi ilmanvaihtokoneen turhan käynnin.

Suunnittelussa tilat kannattaa jakaa käyttötarkoituksen mukaan IV-koneille, jotta samaan aikaan epäpuhtauksia tuottavia tiloja voidaan ohjata keskitetysti. Samalla pystytään estämään puhtaiden ja epäpuhtaiden ilmavirtojen sekoittuminen. Aluejako voidaan tehdä kerroksittain, tilaryhmittäin, rakennusosittain tai julkisivuittain [19, s.48]. Ilmanjakotavalla saavutetaan energiansäästö tuomalla ilma oleskeluvyöhykkeelle. Tämä pienentää ilmamääriä ja on hyödyllinen muun muassa korkeissa tiloissa.

8.1.3 Ilmanvaihdon ohjaus ja säätö

Ilmanvaihdon ohjaus on tärkeää energiatehokkuuden kannalta. Vanhemmassa rakennuskannassa ei välttämättä ole automaatiota. Uudisrakennuksissa kiinteistön tilan valvonta ja säätö keskitetysti on arkipäivää. Aikaisemmin automaatiojärjestelmät eivät olleet kovin kehittyneitä, eikä alhainen energianhintakaan lisännyt kannattavuutta.

Ilmanvaihtotapoja ovat muun muassa vakioilmavirtajärjestelmät, moniilmavirtajärjestelmät sekä muuttuvailmavirtajärjestelmät [19, s.48]. Järjestelmän ominaisuuksista riippuen ilmanlaatua voidaan säätää eri tavoin. Lämpötila, hiilidioksidipitoisuus ja suhteellinen kosteus ovat näistä tärkeimmät.

Vakioilmajärjestelmissä ilmaa poistetaan mitoitusilmamäärä eikä järjestelmää ohjata juurikaan. Mitoitusperusteen mukainen ilmamäärä poistuu tiloista käytöstä riippumatta. Tämän kaltainen käyttö vaatii jatkuvaa tasaista käyttöä tiloilta, jotta hyvät olosuhteet voidaan ylläpitää tiloissa. Ilmavirran suuruuden perusteella tapahtuva ilmanlaadun hallinta ei pysty ylläpitämään tilan ilmanlaatua silloin, kun maksimi-ilmavirta ei riitä poistamaan epäpuhtauksia tai jäähdyttämään tilaan tarpeeksi. Tämä aiheuttaa ilmanlaadun heikkenemistä.

Moni-ilmavirtailmavirtajärjestelmässä ilman laadullisiin seikkoihin pystytään vaikuttamaan portaittaisella säädöllä. Kahdelle tai useammalle tehoportaalle voidaan määrittää käyntiajat, jolloin ne ovat käytössä. Yöaikaan järjestelmä voi toimia minimitehollaan ja käytön ollessa suurta teho voidaan asettaa maksimiin. Tarpeenmukaisuus säästää näin energiaa. Paras hyöty järjestelmästä saadaan, kun kuormitustilanteet ovat säännöllisiä. Kuormitustilanteiden ollessa epäsäännöllistä käyntiaikojen perusteella tapahtuvalla portaittaisella tehostuksella järjestelmä tuhlaa energiaa.

Mitoitusperusteet vaihtelevat järjestelmiin asetettujen vaatimusten mukaisesti. Muuttuvailmavirta-ilmastoinnilla eli MIV-järjestelmällä on parhaat säätömahdollisuudet. Sääötiedon perusteella tuloilmavirran suuruutta tai ilmanolosuhteita muutetaan,

kuten lämpötilaa. Järjestelmä pystyy hyödyntämään CO, CO₂, lämpötila tai kosteusanturien mittausdataa ilmanlaadun hallinnassa. Lämpötilan säätö on näistä yleisin. Ilmankäsittelykoneen säätöalue on normaalissa toimistorakennuksessa 50 - 100 %, mutta joissakin tapauksissa ilmanvaihtokoneen minimi-ilmavirta voi olla 15 – 30 % maksimi-ilmavirrasta [21, s.61]. Järjestelmän monipuolisuus ratkaisee kuinka nopeasti lämpötilan nousuun reagoidaan. Anturin paikkaa valittaessa on huomioitava, ettei lämpötilatietoa vääristä auringonsäteily tai muut suuret lämmönlähteet.

Infrapunasäätimet ovat läsnäoloantureita, joilla voidaan ohjata ilmanpuhallusta. Tekniikan huono puoli on se, ettei se ota kantaa tilassa olevaan ihmismäärään. Tällöin ilmanvaihdon ilmamäärän säätö tapahtuu huonelämpötilan perusteella [21, s.64]. Ihmisten liikkumattomuus voi myös aiheuttaa ilmavirran pysähtymistä, kun anturi ei havaitse liikettä. Tätä kompensoidaan asettamalla järjestelmään viive, jonka jälkeen, jos liikettä ei ole havaittu, kone pysähtyy.

Hiilidioksidipitoisuutta (CO₂) mittaavat säätimet sopivat tiloihin, joissa suuriosa epäpuhtauksista on lähtöisin ihmisistä. Lämpötilamittaukseen verrattuna hiilidioksidipitoisuuden muutos näkyy mittausdatassa nopeammin kuin lämpötilanmuutos [22]. Tällaisia tiloja ovat mm. konsertti- ja luentosalit sekä neuvotteluhuoneet [21, s.65]. Pitoisuuksille on asetettu myös sisäilmastoluokituksessa raja-arvoja eri luokkiin. Taulukossa 8.2 on hiilidioksidipitoisuuksien raja-arvot.

Taulukko 8.2. *Sisäilmaston tavoitearvoja hiilidioksidin osalta [20, s.6].*

	S1	S2	S3
Hiilidioksidipitoisuus [ppm]	< 750	< 900	< 1200

CO₂-säädöllä suunniteltuja järjestelmiä on toteutettu jo pitkään. Eräässä tutkimuksessa todettiin saavutettavan säästön keskimääräiseksi suuruudeksi olevan 20 – 30 % ilmanvaihdon energiankulutuksesta, kun vertailukohtana ilmanvaihtojärjestelmässä ei ollut olosuhde perusteista ohjausta [23, s.75]. Säästön suuruus vaihtelee rakennuksen käyttötarkoituksesta riippuen, ollen joissain tapauksissa jopa suurempi.

8.1.4 Ilmanvaihdon käyttöajat

Ilmanvaihdon käyttöaikojen minimoiminen on tärkeä toimenpide energiansäästön kannalta. Käyttöaikojen optimointi on usein hankalaa, kun tilojen käyttö saattaa vaihdella päivittäin. Kelloon perustuva ohjaus sopii tiloihin, joissa käyttöajat ja käyttäjämäärät ovat säännöllisiä, jolloin epäpuhtauksien määrät eivät vaihtelee käytössä.

Tilan käytön muutokset olisi hyvä ottaa huomioon myös ilmanvaihdon käyttöajoissa. Niiden säännöllinen tarkistaminen säästää ilmanvaihdon lämmitys- ja sähkönkulutuksessa. Sähkön säästö muodostuu puhaltimien ja mahdollisten sähkövastusten energiakäytöstä.

8.2 Lämmön talteenotto

Lämmön talteenotolla tarkoitetaan poistoilman tai veteen siirretyn lämpösisällön talteenottamista ja siirtämistä takaisin lämmitysjärjestelmään tai tuloilmaan. Ilmanvaihdon osalta edullisinta talteen otettu lämpö on siirtää tuloilmaan, koska siinä lämpö siirtyy tehokkaimmin suuren lämpötilaeron ansiosta [17, s.188]. Veteen siirretyn lämpösisällön hyödyllisyys riippuu verkoston lämpötiloista ja löytyykö sopivaa verkostoa, mihin lämpösisältöä voidaan hyödyntää.

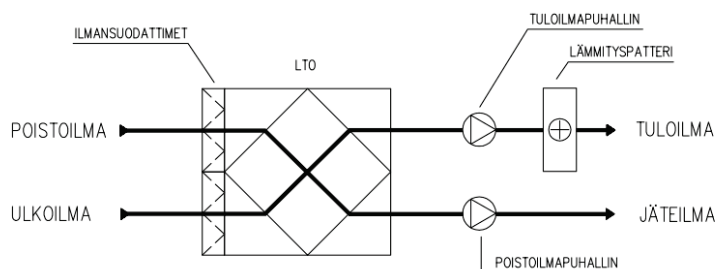
Lämmön talteenoton lämmönsiirtimiä on erityyppisiä ja niillä kaikilla on omat etunsa sekä käyttötarkoituksensa. Hyötysuhteet laitteilla vaihtelee tulo- ja poistoilman lämpötilan mukaan. Vuosihyötysuhde kertoo laitteen todellisen hyötysuhteen lämpöenergian talteenotossa. Usein hyötysuhde on merkitty lämpötilasuhteella mitoituslämpötilassa.

Lämmön talteenoton lisäys saneerauksien yhteydessä on yksi energiaa säästävimmistä toimenpiteistä, mikäli lämmön talteenottoa ei aikaisemmin ole ollut. LTO-patteri voidaan lisätä nykyiseen ilmanvaihtokoneeseen, jos tilaa on riittävästi. Tilanpuute IV-konehuoneessa estää talteenottopatterin lisäyksen.

8.2.1 Suorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimet

Lämmön talteenotto, joka on toteutettu suoralla rekuperatiivisella lämmönsiirtimellä, on esitetty kuvassa 8.1. Suoria rekuperatiivisia lämmönsiirtimiä ovat levylämmönsiirtimet sekä lasiputkilämmönsiirtimet [24, s.40].

Poistoilma virtaa lämmön talteenoton (LTO) läpi, josta jäteilma poistuu ulos rakennuksesta. Lämmön talteenottoyksikössä poistoilma kohtaa tuloilman ulkoilman lämpötilassa, joka lämpenee. Kuvassa on esitetty ristivirtauksella toteutettu lämmön talteenotto. Esilämmityspatteri varmistaa, että tuloilmalle asetettu tuloilman lämpötila saavutetaan mitoitusolosuhteissa. Lämmön talteenottoyksikössä on lämmönsiirtopinta, jonka välityksellä lämpö siirtyy tuloilmaan. Sen tehokkuus riippuu lämmönsiirtimen lämmönsiirtopinta-alasta.

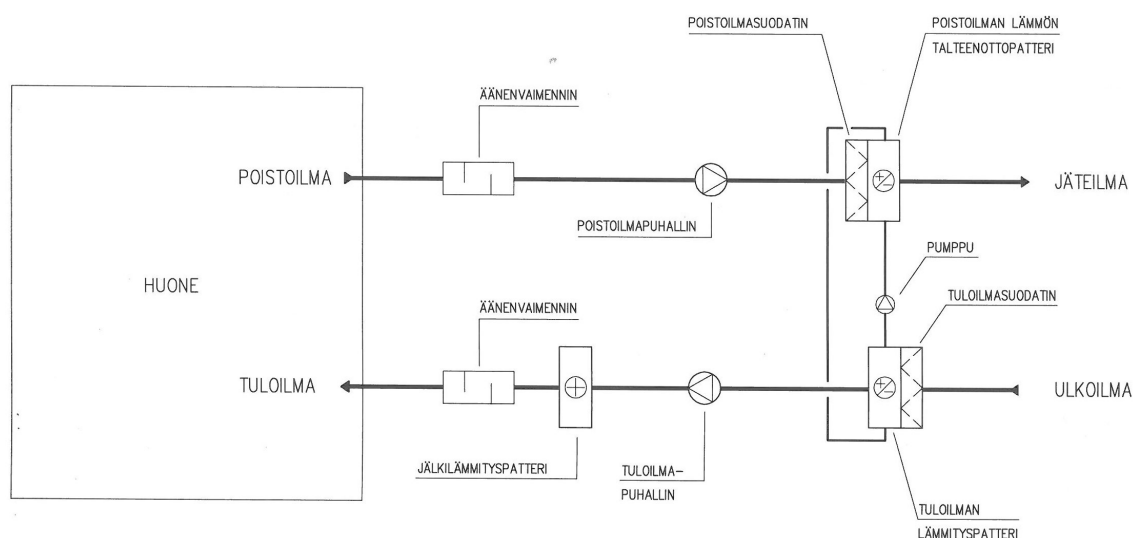


Kuva 8.1. Ristivirtauksella toteutettu lämmön talteenoton toimintakaavio.

Vastavirtauksessa, jossa poistoilma tulisinkin jäteilman suunnasta, on parempi hyötysuhde. Lämmönsiirtyminen on tässä tapauksessa tehokkaampaa, mutta myötävirtausta käytetään käytännön syistä [9, s.286].

8.2.2 Epäsuorat rekuperatiiviset lämmönsiirtimeet

Lämmön talteenotto tapahtuu nestekiertoisessa lämmönsiirtimessä jäähdyttämällä poistoilmaa, jolloin lämmön talteenottopatterissa kiertävä neste lämpenee ja poistoilma jäähtyy. Lämmennyt neste siirtyy putkistoa pitkin tuloilmakoneelle. Siellä lämmityspatteri lämmittää lämmönsiirtopintoihin siirtyneen nesteen lämmöllä ulkoilmaa. Ulkoilma lämmitetään asetusarvoonsa vielä lämmityspatterilla, josta se siirtyy tuloilmakanavistoa pitkin rakennuksen eri tiloihin. Kuvassa 8.2 on esitetty nestekiertoisen lämmön talteenoton periaate.



Kuva 8.2. Lämmön talteenotto poistoilmasta nestekiertoisella lämmön talteenotolla [25, s.79].

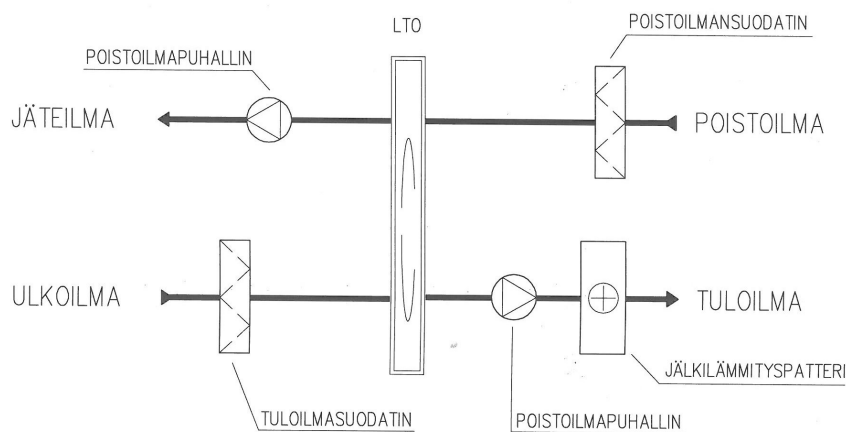
Yleisimmin nestekiertoista lämmönsiirrintä käytetään saneerauskohteissa. Usein suurien tilojen saneerauskohteiden tulo- ja poistoilmakoneet ovat hajanaisesti sijoiteltuna, eikä ilmanvaihtokonehuoneissa ole tilaa. Tulo- ja poistoilmakoneet saattavat olla suurissa kohteissa erilliset, eivätkä ne välttämättä sijaitse kovin lähellä toisiaan. Siksi erilliset patterit tulo- ja poistoilmakoneisiin tai kanaviin, on usein ainoa toteuttamiskelpoinen ratkaisu. Epäsuorien rekuperatiivisien lämmönsiirrinten käyttö on myös hyvin käyttökelpoinen ratkaisu likaisesta poistoilmasta lämmön talteenottamiseen, kun hajujen ja kosteuden siirtymisestä ei ole vaaraa.

Lämmön talteenottopattereiden lisäksi lämmön talteenoton toteuttamiseen tarvitaan liuosputkisto pumppuineen ja venttiileineen. Lämmönsiirtoliuoksena käytetään vesi-glykoli liuosta tai suolaliuosta [24, s.40]. Komponenttien ollessa pieniä ne on kohdullisen helppo sijoittaa ahtaampaankin tilaan. Putkistoja pitkin lämpö on helppo siirtää kauempaankin tuloilmakoneen läheisyyteen.

Lämpötilasuhde nestekiertoisessa lamellipatterissa on 45 – 60 %. Lämpöputkipattereissa, jossa on ripaputkipatteri, lämpötilahyötysuhde on 50 – 80 % luokkaa [9, s.288].

8.2.3 Regeneratiiviset lämmönsiirtimet

Pyörivässä lämmönsiirtimessä lämpöä siirtävä massa lämpenee poistoilmavirrasta. Pyöriessään lämmennyt massa kohtaa tuloilmavirran, joka jäädyttää lämmenneen massan ja siten lämmittää tuloilmaa [9, s.288]. Näin lämpö saadaan talteen tuloilmavirtaan. Lämmönsiirrintyyppin ominaisuutena on kosteuden ja hajujen siirtyminen massan mukana ilmavirroista toiseen. Tämä voi olla haitta tiloissa, joissa on korkeat vaatimukset tuloilman puhtaudelle. Kuvassa 8.3 on esitetty pyörivän lämmön talteenoton toimintaperiaate.



Kuva 8.3. Regeneratiivisen lämmön talteenoton toimintakaavio.

Regeneratiivinen lämmönsiirrin on lämmön talteenottopattereista tehokkain. Tämän tyyppinen LTO-patteri on käytössä tiloissa, joissa kosteuden ja hajujen siirtymisestä ei ole haittaa. Lämpötilasuhde on regeneratiivisilla lämmönsiirtimillä 60 – 80 % [21, s.96]. Hygroskooppisella materiaalilla päällystetty regeneratiivinen lämmönsiirrin voi saavuttaa vielä korkeamman hyötysuhteen. Ilmanvaihtokonehuoneessa tulo- ja poistoilmakoneet sijoitetaan päällekkäin, jotta pyörivä lämmönsiirrin saadaan sijoitettua ilmanvaihtokoneeseen. Tilantarpeen aiheuttamat vaatimukset vaikeuttavat pyörivän lämmönsiirtimen sijoittamista saneerauskohteissa. Jos vanhoja ilmanvaihtokoneita ei uusita perusteellisesti, on pyörivää lämmön talteenottoa vaikeaa saada sijoitettua ilmanvaihtojärjestelmään.

8.3 Sisälämpötilojen pudotus

Tilojen sisälämpötiloilla on energiatalouden kannalta suuri merkitys. Erilaisia vaatimuksia sisälämpötiloista ja sisäilmastosta esitetään rakennusmääräyskokoelman osassa D2 ja sisäilmastoluokituksessa. Taulukossa 8.3 on esitetty tilakohtaisia huonelämpötilojen ohjearvoja. Tavallisesti tavoitelämpötila on 21 °C, mutta joidenkin tilojen lämpötilat on muutettu käyttötarkoitusta vastaavaksi.

Taulukko 8.3. D2 ohjeen tilakohtaisia huonelämpötilojen ohjearvoja.

Tila	Huonelämpötila °C
Porrashuone	17
Kylpyhuone, pesuhuone	22
Kuivaushuone	24
Myymälä	18
– myymälän kiinteä työpiste	21
Liikuntahalli	18
Kirkkosali	18
Tehdashalli, keskiraskas työ	17
Autokorjaamo, katsastustilat	17
Hissikuilu	17
Muut (esim. asunnot, toimistot, opetustilat tms.)	21

Sisälämpötilat vaihtelevat rakennusten tiloissa eri syistä. Vuodenajalla ja käyttäjien toiminnalla on suuri merkitys sisälämpötiloihin. Yksi sisälämpötiloja kasvattava tekijä on auringonsäteily. Aurinko lämmittää eniten etelän puoleisen seinustan tiloja aiheuttaen jo keväisin jäähdytystarvetta. Ulkolämpötilat kasvattavat jäähdytystarvetta entisestään kesäisin. Rakennuksen energiatalouden kannalta olisikin edullisinta, kun jäähdytystarve saataisiin minimoitua ottaen huomioon eri vuodenaikoina muuttuva auringon säteilyn määrä.

Käyttäjien toiminta tilassa on toinen lämpökuormaa aiheuttava tekijä. Suuret ihmismassat nostavat tilan lämpötilaa. Lisäksi tietokoneet ja taulutelevisiot lisäävät lämpökuormaa, joka voi esimerkiksi ATK-saleissa olla suuri. Myös muut laitteet voivat kasvattaa lämpökuormaa.

Kolmantena tekijänä ovat tekniset ratkaisut. Lämmitysverkoston toiminnasta ja säädettävyydestä riippuen tiloja saatetaan lämmittää liikaa tai liian vähän. Suunnittelmissa on saattanut olla virhe tai tilan käyttötarkoitus on vuosien varrella muuttunut, jonka seurauksena tilan tavoitelämpötila ei vastaa tilalle asetettavia vaatimuksia. Säätolaitteiden toiminnassa saattaa olla myös puutteita, kuten esimerkiksi lämpötila-anturin tapauksessa. Jos kaappi tai verho peittää mittalaitteen, sen antama viesti ei vastaa tilan todellista tilaa, kun lämpö tai ilmavirta ei pääse kulkeutumaan vapaasti mittalaitteelle. Mittauspisteen pitäisikin olla keskeisellä paikalla oleskeluvyöhykkeellä. Vanhemmissa kiinteistöissä ei välttämättä ole automaatiota ja mittauksia ollenkaan, mikä vaikeuttaa merkittä-

västi kiinteistön tilan seuranta. Jonkin järjestelmän väärä toiminta voi luoda hetkellisiä muutoksia sisäilmastossa.

8.3.1 Lämmitysverkoston tasapainoitus

Väärien ja epätasaisten lämpötilojen vallitessa tiloissa, on lämmitysverkosto usein tasapainoituksen tarpeessa, mikäli yksittäistä selittävää tekijää liian matalille tai korkeille lämpötiloille löydy. Epätasaiset lämpöolot näkyvät huonetilojen lämpötilojen suurina eroavaisuuksina. Tämä saattaa johtua liian suuresta tai pienestä vesivirrasta lämmityspatterille. Kun käytettävissä olevasta vesivirrasta menee liikaa joihinkin verkoston haaroihin, seuraa siitä liian pieniä vesivirtoja lämmitysverkoston kauimmaisimpiin osiin. Tällöin kaukaisen verkoston osan lämmityspatteri ei kykene lämmittämään tilaa riittäväällä teholla.

Ylilämpöä syntyy, kun huoneita joudutaan lämmittämään kylmimmän huoneen mukaan [26, s.4]. Tästä johtuen muut verkoston haaran lämmityspatterit lämmittävät tiloja liikaa tuottaen näin hukkaenergiaa. Lisääntynyt tuuletustarve, äänet lämmityspattereissa, suurehko energiankulutus sekä jäätymisvauriot indikoivat lämmitysverkoston vesivirtojen epätasapainosta ja verkoston tasapainoituksen tarpeesta [27, s.32].

Vanhojen kiinteistöjen osalta vanhat venttiilit ja toimilaitteet hankaloittavat säätöitä. Ongelmia voi esiintyä jo 15 – 20 vuoden ikäisissä kiinteistöissä. Taulukossa 8.4 voidaan nähdä lämmitysjärjestelmien laitteiden kunnossapitotaksot eli niiden käyttöiät.

Taulukko 8.4. Lämmitysjärjestelmän laitteiden kunnossapitojaksot, tarkastusvälit, huoltovälit sekä vaurioiden yleisimmät syyt sekä niiden ilmenemistapa [28, s. 2].

2 KUNNOSSAPITOJAKSOT

Talo 90	Nimike	Kunnossapitojakso a	Tarkastusväli a	Huoltoväli a	Vaurion yleisin syy ja muoto
2.1 Lämmitysjärjestelmät					
G11	Lämmöntuotanto				
	Öljysäiliöt	15...25	1...5	1...2	Korroosio, mekaaniset syyt: syöpyminen, vuoto
	Öljyputkisto, käsikäyttöisin venttiilein	30		5	Mekaaniset ja tekniset syyt: vuoto, tukos
	Öljypumput	10...15	1	1	
	Öljypolttimet	10...15	1	1	
	Öljypoltinautomaatiikka	10...15	1	1	
	Savukaasunpuhdistimet	20	3	1...2	
	Kattilat	20...25	5	1	Korroosio, materiaali- tai valmistusvika: vuoto, syöpymä
	Varaajat	20...25	5	1...2	Korroosio, mekaaniset syyt: vuoto
	Lämmönsiirtimet				
	– levysiirtimet, juotetut	20...30	5	2...3	Mekaaniset syyt: vuoto
	– levysiirtimet, kumitiivisteelliset	5...10	5	1	Tiivistevaurio, löystyneet pultit: tiivistevuoto
	– putkisiirtimet	15...25	5	1...2	Mekaaniset syyt, korroosio: vuoto
G12	Lämmönjakelu				
	Moottoriventtiilit	15	3	1...2	
	Lämpömäärämittarit	15	3	1	
	Säätölaitteet	10...15	1	1	
	Putkisto, teräs	50...100	10	2...5	Korroosio, mekaaniset syyt: vuoto, syöpymä
	Putkisto, muovi	10...	10	2...5	
	Pumput	5...20	1...3	1	Mekaaniset syyt: akselitiivisteiden vuoto
	Paisunta-astiat				
	– avoimet	15...20	3	1	Korroosio: vuoto, syöpyminen
	– suljetut	15...20	5	1	Mekaaniset syyt: kalvorikko
	Varolaitteet	10...15	1	1	Mekaaniset syyt (roska, tiivistevaurio): vuoto
	Sulkuventtiilit	20	5	1...2	Mekaaniset syyt: läpivuoto, akselitiivisteiden vuoto
	Säätöventtiilit	10...20	3...5	1...2	
	Varoventtiilit	10	1	1	Mekaaniset syyt (kuluminen, roskat): vuoto
G13	Lämmönluvutus				
	Patteriventtiilit	10...25	3...5	1...2	Mekaaniset syyt: vuoto
	Patteriventtiilit, termostaatit	10...15	3...5	1...2	Mekaaniset syyt
	Lämmityspatterit	50...100	10	2...5	Korroosio, mekaaniset syyt: vuoto
	Konvektorit	30	2...5	2	Mekaaniset syyt, korroosio: vuoto
	Lämmöntalteenottopatterit	20	2...5	2	Mekaaniset syyt (jäätyminen): stukos
	LTO-pumput	15	1...3	1	Tiivistevaurio, huollon puute: akselitiivisteiden vuoto
G14	Eristykset	25...50	10	3	Mekaaniset syyt: rikkoontuminen, kastuminen

Säätöventtiilit tulevat käyttöikänsä päähän 10 – 20 vuoden välillä, patteriventtiilit 10 – 25 vuoden välillä ja moottoriventtiilit 15 vuoden kuluessa. Kaukolämpölaitteiden osalta yleisohjeena käyttöiän osalta voidaan pitää noin 15 - 20 vuotta [27, s.54]. Käyttöiän ylittyessä säätöarvojen paikkaansa pitävyys heikkenee viallisen toiminnan takia. Säätöarvot eivät vastaa suunnitelmia ja venttiilit saattavat jumittua. Laitteen toiminta voi olla niin heikkoa, ettei säätöarvojen lukemiin ole mahdollista edes päästä. Verkostoihin kertynyt sakka kasvattaa painehäviötä niin, ettei laitteilla käytettävissä oleva painehäviö ole riittävä. Seinämistä irtoava sakka tukkii myös verkoston venttiilit.

Lämmitysverkosto on hyvin suunniteltu, kun sitä on helppo säätää. Säätötapojen pääperiaatteet tasapainoituksessa ovat samat riippumatta rakennuksissa käytettävistä lämmön jakotavoista ja putkituksista. Verkoston säätö eli tasapainoitus tulisi tehdä aina saneerausten yhteydessä, silloin kun järjestelmään tehdään oleellisia muutoksia tai, kun lämmöntarve muuttuu [29, s.1]. Muutosten yhteydessä vesivirrat muuttuvat, joka sekoit-

taa verkoston toimintaa. Säädön tarkoituksena on jakaa suunnitellut vesivirrat pattereille. Sopivasti valitun putkistohaaran, kuten esimerkiksi pystylinjan vesivirtaa säädetään linjasäätöventtiilillä 2-putkijärjestelmässä. Edellytyksenä säädölle on, että linjasäätöventtiilit ovat kunnossa. Pumpun jälkeen on myös linjasäätöventtiili, jolla voidaan säätää koko verkoston vesivirtaa sekä mitata sen suuruutta. Tilojen haluttu lämpötila saavutetaan parhaiten, kun pattereihin on asennettu termostaattiset patteriventtiilit. Termostaattisilla patteriventtiileillä voidaan rajoittaa lämmityspatterin läpikulkevaa vesivirtaa, jonka vaikutus näkyy nopeasti patterin lämmönluovutuksessa [17, s.125]. Termostaatti tarkkailee huonelämpötilaa. Lämpötilan kasvaessa termostaatti pienentää vesivirtaa lämmitystarvetta vastaavaksi. Näin tiloja ei lämmitetä turhaan.

Lämmitysverkosto tulisi ilmata aina ennen tasapainoitusta. Ilmauksen yhteydessä lämmitysverkostoon päässyt ilma poistetaan. Ilmaa pääsee verkostoon liitäntöjen läpi sekä korjaustoimenpiteiden yhteydessä [26, s.7]. Ilma erottuu kupliksi verkoston veteen ja vaikuttaa virtaukseen putkistoissa. Se myös heikentää putkiston teknistä käyttöikää aiheuttaen korroosiota, kun happi on kosketuksessa teräksen kanssa. Korroosion seurauksena putkiston sisäpinnasta irtaantuu kappaleita, jotka tukkivat putket ja venttiilit tai vähintäänkin heikentävät nesteen virtausta. Myös kolina ja äänet lämmitysverkostosta kertovat siitä, että lämmitysverkostoon on päässyt ilmaa. Ilmauksen puutteellisuudella on suuri vaikutus säätötoimenpiteiden epäonnistumiseen [30, s.7]. Ilma voidaan poistaa verkostosta esimerkiksi asentamalla putkiston yläosaan automaattinen tai käsi-käyttöinen ilmanpoistin.

8.3.2 Lämpötilan laskun vaikutukset

Motiva on tehnyt tutkimuksia asuinkerrostaloissa tehtyjen lämmitysverkoston saneerauksien vaikutuksista energiankulutukseen asuinrakennuksissa. Kerrostalokohteessa tehtiin lämmitysverkoston perussäätö. Kohteen kuntotutkimuksen yhteydessä havaittiin lämmitysverkostoon päässeeseen kiinteää ainesta, joka oli vaikeuttanut veden virtausta putkistossa [31]. Kiinteä aines poistettiin putkistosta, termostaatit ja venttiilit vaihdettiin sekä verkosto säädettiin. Energiakorjaustoimenpiteillä saatiin yli 8 % säästöä energiankulutuksessa.

Lämmitysverkoston tasapainoituksen vaikutuksena on yleisesti kerrottu olevan 5 % säästövaikutus energiankulutukseen, kun tilan lämpötilaa saadaan laskettua yhden asteen [30, s.4].

Kohteen B kiinteistön energiankulutusta on simuloitu taulukossa 8.5. Rakennuksesta pohja- ja leikkauskuvien avulla koostettiin rakennusmääräyskokoelman D5 ohjeen mukainen energiankulutuksen laskentamalli. Kiinteistön iästä johtuen kunnollisia dokumentteja rakennuksesta ei ollut saatavissa. Taulukosta voidaan nähdä sisälämpötilan muutosten vaikutuksia energiankulutukseen kerroksittain.

Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsi klubi sekä ravintola tilat. Sisälämpötilan muutoksesta ei kertynyt kovin suurta säästöä energiankulutuksen osalta. Yhden asteen muutoksella saavutetaan 1,1 % säästö energiankulutuksessa.

Toisessa kerroksessa sijaitsevat toimistotilat. Lämpötilan muutoksilla tässä tilassa päästiin jo merkittävästi suurempiin säästövaikutuksiin, joka on samassa suuruusluokassa Motivan projektien kanssa. Konserttisalissa säästövaikutukset olivat samaa suuruusluokkaa toisen kerroksen lukujen kanssa.

Taulukko 8.5 Kohteen B kiinteistön D5 ohjeen mukaan simuloitujen lämpötilanmuutosten vaikutuksia energiankulutukseen, kun vertailulämpötila 1.krs ja 2.krs:ssa on 21 °C ja konserttisalissa 18 °C. Prosenttiluku kuvaa energiankulutuksen muutosta, jos sisälämpötila poikkeaa tavoitelämpötilasta.

Tila	Lämpötila °C	Ostoenergiankulutus MWh	Lämpötilan muutos °C	%
1 krs	23	314,0	-2	2,5
	22	310,0	-1	1,2
	21	306,2	0	
	20	302,5	+1	-1,2
2 krs	23	111,1	-2	8,5
	22	106,7	-1	4,4
	21	102,4	0	
	20	98,2	+1	-4,1
Konserttisali	21	654,1	-3	14,9
	20	624,6	-2	9,7
	19	596,2	-1	4,7
	18	569,2	0	
Koko rakennus		1224,0	-3	11,9
		1164,1	-2	6,4
		1135,8	-1	3,8
		1094,2	0	

Kokonaisuudessa koko rakennuksessa ei aivan päästy yhden asteen pudotuksella 5 % säästöön laskentamallin laskennan perusteella. Säästöä kuitenkin syntyi sisälämpötilan pudotuksilla useita prosenttiyksikköjä. Todellisuudessa lämpötilat ovat tiloissa hyvinkin erilaisia. Yleisesti voidaan todeta ylempien kerrosten olevan lämpimämpiä pohjakerrokseen verrattuna. Laskentamallia tehdessä jouduttiin tekemään useita oletuksia muun muassa lämmöneristyksen ja vuotoilman osalta. Rakennuksen iäkkyyys tarkoittaa myös sitä, ettei kunnollisia dokumentteja rakennuksen tekniikasta ja rakenteista ole olemassa.

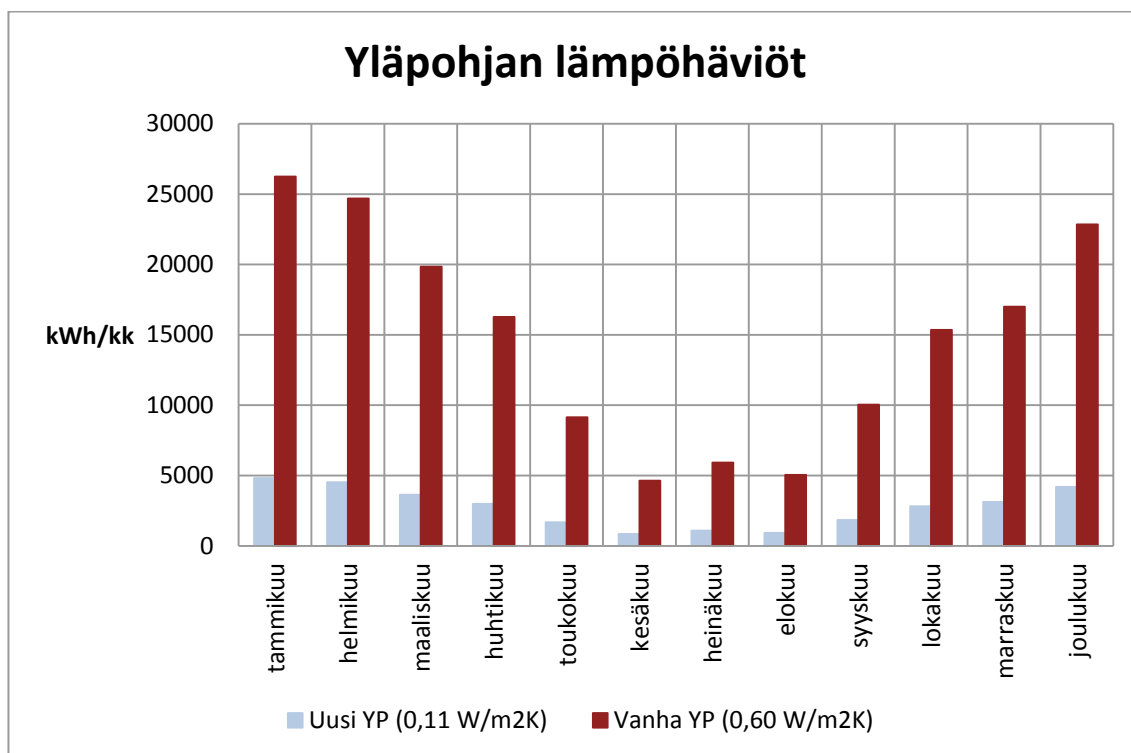
8.4 Yläpohjan lämmöneristys

Yläpohjan lämmöneristystä käytetään saneerauskohteissa usein, koska se on usein edullinen tapa korjata rakenteiden energiataloudellisuutta. 1900-luvun alkupuolella rakennuksissa käytetyt lämmöneristeet olivat heikkoja lämmöneristävydeltään. Rakentamisen vaatimusten tiukennettua rakenteiden eristävyyteen on jouduttu kiinnittämään enemmän huomiota. Ne ovat myös johtaneet lämmöneristeiden eristävyyden voimakkaaseen kehitykseen viime vuosikymmeninä.

Yläpohjan lämmöneristyksessä puhallusvillan käyttö on yleistä sen helpon asennettavuuden ansiosta. Asentamisen kustannukset jäävät tällöin melko pieniksi, eikä rakenteita jouduta purkamaan asennustöiden takia. Lämmöneristuksen parantamisella voidaan myös saavuttaa merkittävää säästöä.

Lisäeristuksen kannattavuutta pohdittiin kohteen A tapauksessa. Haastatteluissa tuli ilmi rakennuksen räystäälle muodostuvan talven aikana jääpuikkoja, joka viittaa suuriin lämpöhäviöihin yläpohjassa. Rakennesuunnittelija arvioi rakenteen yläpohjassa sekä päärakennuksessa että liikuntasalissa olevan lämmöneristävydeltään $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$. Puhallusvilla asennettaisiin 300 mm paksuudelta vanhojen rakenteiden päälle, jolloin yläpohjan lämmöneristävyys pienenesi arvoon $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Puhallusvillalla pystyttäisiin helposti parantamaan rakenteen lämmöneristävyyttä ullakolla. Kuvassa 8.5 on laskettu yläpohjan lämmöneristuksen parannuksesta tapahtuvaa energiansäästöä kuukausittain.



Kuva 8.5 Yläpohjan uuden ja vanhan lämmöneristuksen vaikutukset lämpöhäviöihin.

Liikuntasalin osalta vanhan yläpohjarakenteen läpi kulkeutuva lämpöhäviö on 88 MWh/a ja uuden rakenteen vastaava lämpöhäviö on 16 MWh/a. Lisälämmöneristyksen lämpöhäviöitä pienentävä vaikutus olisi siis 72 MWh/a. Päärakennuksen vastaava arvo vanhan rakenteen energiankulutuksen osalta olisi 89 MWh/a. Parannuksen myötä uuden yläpohjarakenteen lämpöhäviö olisi 16 MWh/a. Lämpöhäviö pienenesi 73 MWh/a alkuperäisestä arvosta. Yhteensä parannukset tuovat 145 MWh/a säästöä, joka on 4,9 kWh/m³,a ja 15,2 kWh/brm²,a.

9 TULOKSET JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

9.1 Kohde A

Kohteelle laskettiin useita energiakorjaustoimenpiteitä ja energiansäästöä saavutettiin tuntuvasti. Kustannuksiin huomioitiin laitehankinnat, asennustyöt ja eri alojen suunnittelutyöt. Kustannukset ovat suuntaa antavia ja ne saattavat muuttua työtilanteen sekä suhdanteiden perusteella.

9.1.1 Kiinteistön energiansäästötoimenpiteet

Kohteen A koululle tutkittiin taulukossa 9.1 esitettyjä toimenpiteitä, joista toimenpidettä viisi ei edes ehdotettu.

Taulukko 9.1. Kohteen A koulun toimenpide-ehdotukset.

1	Termostaattisten patteriventtiilien lisääminen lämmitysverkostoon ja verkoston perussäätö
2	Luokkakohtaisten IV-koneiden käyntiaikamuutokset, sekä sulkupeltien ja jännitteen katkaisun lisääminen
3	Lämmönjakokeskuksen automaation ja säätöventtiilien uusiminen, sekä ilmanpoiston lisääminen patteriverkostoon
4	Päärakennuksen ja liikuntasalin yläpohjien lisäeristys
5	Kohdepoistojen poistoilman lämmön talteenotto neulalämmönsiirtimellä

Toimenpiteeksi ehdotettiin termostaattisten patteriventtiilien lisäämistä ja lämmitysverkoston perussäätöä. Saneerauksen jälkeen ei oltu tehty lämmitysverkoston tasapainoitusta, joka ilmeni epätasaisina lämpöoloina. Lämmitysverkostossa ei ollut termostaattisia patteriventtiilejä, joten niiden lisäyksellä voidaan saada merkittävää säästöä. Arviona käytettiin 10 % säästöä johtumisesta ja vuodosta, joka vastaisi kahden asteen pudotusta sisälämpötiloissa. Arviolla päästään 84 MWh/a säästöön.

Luokkakohtaiset IV-koneet käyvät kokoajan 1/1 teholla tai ½ teholla. Jännitteenkatkaisun lisäyksellä koneet saadaan pysähtymään ajaksi, jolloin tiloilla ei ole käyttöä. Ennen muutosta IV-koneet kuluttavat 41 MWh/a lämpöenergiaa ja 96 MWh/a sähköenergiaa. Muutosten jälkeen IV-koneet kuluttavat lämpöenergiaa 20 MWh/a ja sähköenergiaa 50 MWh/a. Säästöä syntyy lämmön osalta 21 MWh/a ja sähkön osalta 46 MWh/a. Pääasiassa säästö syntyy käyntiaikamuutoksien ja koneiden pysäyttämistä.

Sulkupellin lisäyksen tuoma energiansäästö ei ole suuri, mutta ne lisäävät tilojen viihtyvyyttä.

Lämmönjako oli aikaisemmin toteutettu yksikkösäätimillä. Säätimien uusimien yhteydessä ne kytketään valvonta-alakeskukseen. Samassa yhteydessä käyttöikänsä lopussa olevat säätöventtiilit uusitaan ja lisätään automaattinen ilmanpoistin lämmitysverkostoon. Näiden toimenpiteiden arvioitiin tuottavan 8 % säästön vuodessa, joka saavutetaan oikealla ja tarpeenmukaisella lämmitysverkoston säädöllä.

Päärakennuksen ja liikuntasalin yläpohjien lämmöneristys oli heikko $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, jota parantamalla laskettiin saatavan 146 MWh/a säästö lämmitysenergiankulutuksessa. Lisäeristys toteutettiin puhallusvillalla, joka on nopea ja helppo asentaa. Eristystyön lisäksi yläpohjaan piti rakentaa huoltoreitit, jotka otettiin huomioon kustannuksissa. Säästö saavutettiin 300 mm puhallusvillakerroksella liikuntasalin ja opetustilojen yläpohjissa. Saneeratun yläpohjarakenteen uusi U -arvo olisi $0,11 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Koulurakennuksen kohdalla tutkittiin putkilämmönsiirtimen lisäämistä koulun keittiön kohdepoistoihin. Poistoilmasta lämpöä talteenottavalla lämmönsiirtimellä arvioitiin saavutettavan $1 \text{ m}^3/\text{s}$ poistosta $24,3 \text{ MWh/a}$ säästön. Poistoilmamäärät olivat kuitenkin niin pieniä, ettei säästöä syntynyt tarpeeksi. Toteutuakseen ilmamäärien pitäisi olla suurempia ja huippuimurien pitäisi sijaita lähempänä, jotta lämmön talteenotto lisäys voitaisiin toteuttaa.

Kokonaisuudessaan tutkittujen energiansäästöön tähtäävien toimenpiteiden kokonaisvaikutus on $40,4 \text{ kWh/brm}^2, \text{a}$ ja $13,1 \text{ kWh/m}^3, \text{a}$. Rakennuksen laskennallisen energiankulutuksen ollessa $74,2 \text{ kWh/m}^3, \text{a}$ on säästöjen osuus sähkön ja lämmön kokonaiskulutuksesta noin 17,6 %. Kannattavien toimenpide-ehdotusten osuus (alle 10 vuoden takaisinmaksuaika) kokonaisenergiankulutuksesta on noin 10 %.

9.1.2 Kustannukset

Termostaattisille patteriventtiileille, asennukselle, tasapainoitukselle ja suunnittelutyölle arvioidaan tulevan kustannuksia 36000 € edestä. Summan suuruuteen vaikuttaa patteriventtiilien 250 kpl määrä.

Luokkakohtaisen ilmanvaihtokoneelle kustannuksia kertyi 23500 € . Kustannuksiin arvioitiin jännitteen katkaisin, pellit, käyntiaika muutokset ja suunnittelu.

Lämmönjakohuoneen toimilaitteiden uusimiseen arvioitiin automaation tarvikkeet, liityntä valvomoon, ilmanpoistin, moottoriventtiilit ja asennustyöt. Kustannuksia toimenpiteelle arvioidaan kertyvän 10000 € .

Yläpohjan lisäeristykselle arvioidaan kustannuksiksi 46000 € . Kustannuksissa on mukana kulkusiltojen rakentaminen, puhallusvilla ja asennustyöt.

Poistoilman lämmön talteenotolle tulee hintaa 22500 € . Kustannuksissa on mukana poistoilmapatteri, säleikkö, putket, varusteet, huoltopaketti, suunnittelu, rakennustyöt ja asennustyöt.

9.1.3 Säästötoimenpiteiden kannattavuus

Kiinteistöissä oli lämmitysmuotona kaukolämpö, jonka hintana käytettiin 50 €/MWh. Sähkölle hintana käytettiin 85 €/MWh. Taulukkoon 9.3 on koottu toimenpiteiden energiansäästö, kustannussäästö ja takaisinmaksuaika. Sen laskennassa käytettiin korotonta maksuaikaa.

Taulukko 9.3 Kohteen A investointien tuottamat energiasäästöt, kustannussäästöt ja investoinnin takaisinmaksuaika.

1. Termostaattisten patteriventtiilien lisääminen ja verkoston perussäätö		
Energiansäästö yhteensä	67	MWh/a
	7,0	kWh/brm ² ,a
	2,3	kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	3330	€/a
Takaisinmaksuaika	8,5	a
2. Luokkakohtaisten IV-koneiden käyntiaikamuutokset, sekä sulkupeltien ja jännitteen katkaisun lisääminen		
Energiansäästö yhteensä	67	MWh/a
	7,0	kWh/brm ² ,a
	2,3	kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	4920	€/a
Takaisinmaksuaika	4,8	a
3. Lämmönjakokeskuksen automaation ja säätöventtiilien uusinta sekä ilmanpoiston lisäys patteriverkostoon		
Energiansäästö yhteensä	53	MWh/a
	7,1	kWh/brm ² ,a
	2,3	kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	3380	€/a
Takaisinmaksuaika	3,0	a
4. Päärakennuksen ja liikuntasalin yläpohjien lisäeristys		
Energiansäästö yhteensä	146	MWh/a
	15,3	kWh/brm ² ,a
	4,9	kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	7250	€/a
Takaisinmaksuaika	6,4	a
5. Lämmön talteenotto kohdepoistoista		
Energiansäästö yhteensä	24	MWh/a
	2,5	kWh/brm ² ,a
	0,8	kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	1215	€/a
Takaisinmaksuaika	18,5	a

Toimenpiteet kaksi, kolme, neljä olivat kohteen A osalta kannattavimmat toimenpiteet, jotka maksavat itsensä takaisin melko nopeasti ja joita voidaan pitää suositeltavina toimenpiteinä. Myös toimenpide yksi on harkinnan arvoinen toteuttamisen osalta. Toimenpide viisi on selkeästi kannattamaton toimenpide erikseen tehtynä investointina.

9.2 Kohde B

Kiinteistölle löytyi muutamia energiakorjaustoimenpiteitä. Kustannuksiin pyrittiin arvioimaan kaikki menoerät, jotka toimenpiteen toteuttamiseen kuuluu. Toimenpideehdotuksia löytyi kolme.

9.2.1 Kiinteistön energiansäästötoimenpiteet

Kohteen B kiinteistölle tutkittiin seuraavia toimenpiteitä, jotka näkyvät taulukossa 9.2.

Taulukko 9.2 Kohteen B toimenpide-ehdotukset.

6	Lämmönjakokeskuksen laitteiden uusiminen
7	Termostaattisten patteriventtiilien lisääminen ja verkoston perussäätö
8	CO ₂ -ohjauksen lisääminen ilmanvaihtoon

Lämmönjakokeskuksen laitteista osa oli todella vanhoja ja käyttöikänsä päässä. Patteri- ja lattialämmitysverkoston lämmönsiirrin oli vanha putkilämmönsiirrin 70-luvulta. Samoin verkostoon liittyvät pumpput olivat samalta ajalta. Käyttöikä on ylittynyt usealla vuodella ja sen perusteella voidaan olettaa korroosion ja vuotojen vaikuttavan merkittävästi laitteiden toimintakykyyn ja energiatehokkuuteen. Laitteiden heikon toiminnan sekä huonon hyötysuhteen, että eristämättömän DN125 runkoputken eristämällä kellarissa arvioidaan saavutettavan 5 % eli 11,3 MWh/a säästön.

Uusien termostaattisten patteriventtiilien lisäyksellä sekä perussäädöllä arvioidaan saavutettavan 5 % säästön lämpöenergiankulutukseen vuodessa.

Konserttisalin IV-kone TK4 ja klubin IV-kone TK6 aiheuttavat suurta energiankulutusta rakennukselle. Hiilidioksidianturien lisäyksellä poistoilmakanaviin sekä tarvittavan automaation lisäyksellä arvioitiin saavutettavan merkittävää säästöä. Energiansäästövaikutusta laskettiin Motiwatti ohjelmalla käyntiaikojen muutosta laskemalla. CO₂ perusteisen ohjauksen lisäyksellä arvioitiin saatavan säästöä 50 MWh/a lämmönkulutuksessa ja 15 MWh/a sähkönkulutuksessa.

Kokonaisuutena energiansäästö toimenpiteillä voidaan säästää 8,5 kWh/m³. Harkittavien tai selkeästi kannattavien toimenpiteiden energiansäästö on 7,4 kWh/m³. Tämä on kokonaisenergiankulutuksesta 7,2 % rakennuksen laskennallisesta lämmitysenergiankulutuksesta, joka on 102,3 kWh/m³.

9.2.2 Kustannukset

Lämmönjakokeskuksen laitteiden uusimisille lasketaan hinnaksi 4000 €. Kustannuksissa on arvioituna uusi lämmönsiirrin, pumput, putkien eristys, asennustyöt ja suunnittelu.

Termostaattisten patteriventtiilien lisäys ja lämmitysverkoston perussäädölle hinnaksi tuli 12000 €. Kustannukset koostuvat työstä ja uusista termostaateista sekä patteriventtiileistä. Patteriventtiilejä on rakennuksessa 65 kpl. Työn osuus on hieman koulukohdetta suurempi, koska venttiilien asennustila ja suurehkot patteriputket vaikeuttavat työtä. Myös tasapainoitus ja suunnittelu otetaan huomioon kustannuksissa.

Hiilidioksidianturin lisäykselle ilmanvaihtoon arvioidaan maksava 3500 €. Epävarmuutta toimenpiteen kustannuksiin vaikeuttaa anturien sijoitus, jonka kaapelivedot voivat tulla hyvinkin kalliiksi.

9.2.3 Säästötoimenpiteiden kannattavuus

Taulukossa 9.4 nähdään kohteen B kiinteistölle laskettujen ja arvioitujen toimenpiteiden energiansäästön suuruus sekä kustannuksen suuruus. Myös näille toimenpiteille laskettiin takaisinmaksuajat.

Taulukko 9.4. Kohteen B investointien tuottamat energiasäästöt, kustannussäästöt ja investoinnin takaisinmaksuaika.

6. Lämmönjakokeskuksen laitteiden uusiminen	
Energiansäästö yhteensä	11,3 MWh/a 3,2 kWh/brm ² ,a 1,1 kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	560 €/a
Takaisinmaksuaika	7,1 a
7. Termostaattisten patteriventtiilien lisääminen ja verkoston perussäätö	
Energiansäästö yhteensä	11,3 MWh/a 3,2 kWh/brm ² ,a 1,1 kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	560 €/a
Takaisinmaksuaika	21,3 a
8. CO ₂ -ohjauksen lisääminen ilmanvaihtoon	
Energiansäästö yhteensä	65 MWh/a 18,6 kWh/brm ² ,a 6,3 kWh/m ³ ,a
Kustannussäästö	3500 €/a
Takaisinmaksuaika	1,0 a

Toimenpide kahdeksan oli selkeästi kannattava ja erittäin nopeasti itsensä takaisinmaksava investointi. Vaikka säästön suuruutta oli vaikea laskea ja arvioida, voi-

daan investointia suositella. Toimenpidettä kuusi on mahdollisesti toteutettava energia-korjaustoimenpide, mutta säästöarviota on vaikeaa todentaa. Toimenpiteiden seitsemän osalta takaisinmaksuaika kasvaa liian suureksi, ettei toimenpiteitä kannata toteuttaa.

10 PÄÄTELMÄT JA YHTEENVETO

10.1 Päätelmät tutkimuksista

Energian hinnat tulevat nousemaan tulevaisuudessa voimakkaasti. Nousu on näkynyt jo vuosia kaukolämmön ja sähkön hinnoissa, eikä taittumista siinä ole havaittavissa. Tämä vaikuttaa kiinteistöjen energiankulutukseen kohdistuvaan mielenkiintoon. Suomessa, jossa energiaa kuluu runsaasti rakennusten lämmitykseen, on hintojen nousulla merkittävä vaikutus kansantaloudellisesti. Tästä syystä julkisen ja yksityisen kiinteistökannan omistajat tulevat panostamaan energiankulutuksen vähentämiseen peruskorjausten yhteydessä, mutta myös erillisten energiakorjausten keinoin. Energiahintojen kasvun seurauksena, sekä parempien, että energiatehokkaampien teknisten ratkaisujen myötä rakennuksiin tehtävien investointien kannattavuus paranee.

Kiinteistöjen pitkäaikaisen käytön, ylläpidon ja korjausten suunnittelu nousee avainasemaan energiakorjausten yhteydessä. Tiedon kulku kiinteistöltä sen ylläpidolle on myös hyvin tärkeää. Jatkuva energiankulutuksen seuranta auttaa oikea-aikaisten energiakorjausten toteuttamisessa ja vikaantuneiden järjestelmien havainnoinnissa. Kaikissa kunnissa tämä ei ole mahdollista vähäisten resurssien ja osaavan henkilöstön puuttuessa. Osaamisen puuttuessa kiinteistökannan energiatehokkuuden kehittämiseen voisi antaa ulkoisen asiantuntijaorganisaation tehtäväksi. Resurssit ja työkalut olisivat näin heti käytössä, eikä henkilökunnan kouluttamiseen tarvitsisi uhrata jatkuvasti resursseja.

Kirjallisen osuuden tutkimuksista yleisimmin rakennuksien korjauskohteiksi kohdentui ulkovaipan lisäeristys, joka varsinkin vanhemmissa rakennuksissa on usein heikkotasoinen. Se on myös kohtuullisen helppo toteuttaa ja sen yhteydessä usein suoritettava rakenteiden ulkopuolinen ehostus nostaa kiinteistön arvoa. Lisäeristyksellä saavutettava säästöpotentiaali on myös suuri. Vanhemmassa rakennuskannassa lämmöneristyspaksuus ei ole kovin suuri ja käytetyt lämmöneristeet saattavat olla lämmöneristävyydeltään heikkoja. Eristyspaksuudeltaan vastaavilla uusilla eristeillä voidaan saavuttaa merkittävästi parempi lämmöneristävyys vanhaan verrattuna. Samalla vaipan liitoskohtien ilmavuodot pienenevät ja ilmatiiviys paranee. Yksittäisenä energiakorjauksena toimenpide tulee kannattavimmaksi ikkunoiden ja yläpohjan osalta. Muiden rakenteiden korjauksen yhteyteen vaaditaan rakenteellisia korjauksia, jotta lisäeristys on perusteltua.

Vesikiertoisen lämmitysjärjestelmän huonetilojen lämpötilan säädön parantaminen on myös usein kiinteistöjen energiakorjauksiin liittyvien toimenpiteiden listalla. Termostaattisilla patteriventtiileillä, sekä muiden säätöventtiilien uusinnalla, saavutetaan, niin olosuhteiden paranemista, kuin energiataloudellista säästöä. Venttiilien uusiin liittyä myös usein energiakorjausten yhteydessä verkoston säätö, joka on vält-

tämätön toimenpide optimaalisen hyödyn saavuttamiseksi. Usein korjauksen yhteydessä lämmitysjärjestelmä kytketään automaatioon, jolloin kiinteistön huoltoyhtiö saa ajantasaista tietoa järjestelmän toiminnasta, kun mitataan oikeita suureita. Automaatio mahdollistaa tekniikan paremman säädön ja oikea-aikaiset havainnot järjestelmän toiminnasta.

Ilmanvaihdon osalta vaatimukset paremmista olosuhteista voivat aiheuttaa joissakin tapauksissa energiankulutuksen kasvua. Tämä johtuu usein painovoimaisen ilmanvaihdon muuttamisesta koneelliseksi ilmanvaihdoksi, jonka seurauksena ilma alkaa vaihtua tehokkaammin ulkoilman olosuhteista riippumatta. Lämmön talteenottopatterin lisäys koneellisen ilmanvaihtoon tuo säästöä energiankulutukseen. Samoin ilmanvaihdon käyntiaikojen tarkistus ja tarpeenmukainen ohjaus ovat alueita, jotka olivat energiakorjausten kohteena. Julkisessa kiinteistökannassa on paljon rakennuksia, joilla on vain ajoittaista käyttöä. Tällöin ilmanvaihdon tarpeenmukaiseen käyttöön ja järjestelmien säätöön kannattaa kiinnittää huomioita energiakorjaustoimenpiteitä suunniteltaessa.

Sähkön kulutuksessa huomio kiinnittyi pääsääntöisesti valaistuksen energiatehokkuuteen ja luonnonvalon optimointiin valaistuksessa. Valaistuksen säätö läsnäolo- ja käyttöperusteisesti vähentävät sähkönkulutusta. Uusien LED-lamppujen vaikutus pienentävästi sähkönkulutukseen on myös merkittävä. Lamppujen energiatehokkuus onkin ottanut askelia kehityksessä eteenpäin viimeisen kymmenen vuoden aikana.

10.2 Päätelmät kohteista

Työn käytännön osuudessa tehtiin energiansäästötoimenpide-ehdotuksia kahdelle erilaiselle kiinteistölle. Tarkasteluja voidaan pitää suuntaa antavina. Koulu kiinteistön osalta laskennallisen tarkastelun perusteella löydettiin muutama kannattava energiakorjaustoimenpide. Luokkakohtaisiin ilmanvaihtokoneisiin tehtävillä muutoksilla arvioitiin saavutettavan kohtuullista säästöä. Lisäeristäminen ja lämmönjakokeskuksen säätölaitteiden uusinnat osoittautuivat kannattavimmiksi toimenpiteiksi. Eristyspaksuuden kasvattaminen oli tässä kohteessa suhteellisen helppoa. Sen toteuttamismahdollisuuksia pitää kuitenkin arvioida aina erikseen, vaikka kannattavuustekijät olisivatkin kunnossa. Lisäeristämistä voidaan pitää näistä vaihtoehdoista kaikkein toteuttamiskelpoisimpana tapauksena. Lämmönjakokeskuksen laitteiden uusinnan vaikutusta on vaikea todentaa ja niiden uusimista kannattaa harkita. Paremman hyötysuhteen ja oikeiden säätöarvojen avulla syntyy energiansäästöä, kun valvomoon kytkettyjä säätimiä voidaan säätää tehokkaammin kuin olemassa olevia säätimiä. Lisäksi pohdittiin termostaattisten patteriventtiilien lisäämistä ja kohdepoistojen lämmön talteenottoa. Termostaattisten patteriventtiilien lisäyksellä saavutettava säästön suuruus on yleensä hyvä, mutta tässä tapauksessa takaisinmaksuaika kasvaa hieman liian pitkäksi. Kohdepoistojen lämmön talteenotolla saavutettava säästö jäi pieneksi ja takaisinmaksuaika on pitkä. Toteutukseltaan riittävän poistoilmamäärän kerääminen yhteen kohdepoistoon on hankalaa, kun poistoilmapuhaltimet ovat yleensä ilmamääriltään niin pieniä ja etäällä toisistaan.

Kokoontumistilan osalta energiakorjaustoimenpiteitä löytyi vähemmän. Suurten ilmamäärien takia CO₂-ohjauksen lisäys ilmanvaihtoon osoittautui kannattavimmaksi vaihtoehdoksi. Kannattavuus oli tässä tapauksessa erinomainen. Tutkimukset ovat osoittaneet, että suurissa tiloissa voidaan saavuttaa säästöä oikea-aikaisella säädöllä kymmeniä prosentteja. Käyttöasteen ollessa hyvä säästövaikutus pienenee merkittävästi. Epävarmuustekijöitä investoinnissa liittyy toteutukseen ja ilmanvaihtokoneiden käyntiaikoihin. Käyntiaikojen osalta jouduttiin tekemään oletuksia, kun tilaa ohjataan kellokytkimellä. Muita energiakorjausehdotuksia, joita harkittiin, olivat lämmönjakokeskuksen laitteiden uusinta ja termostaattisten patteriventtiilien lisäys. Jälkimmäisen osalta takaisinmaksuaika kasvoi pitkäksi. Lämmönjakokeskuksen osalta säästöä on saavutettavissa olemassa olevien laitteiden kunnon perusteella. Kannattavuutta voidaan arvioida kohtuulliseksi.

10.3 Yhteenveto

Tässä työssä tarkasteltiin erilaisten julkisten kiinteistöjen energiakorjausmenetelmiä kahden kiinteistön avulla ja kirjallisuudessa tehtyjen tutkimusten tuloksia analysoimalla. Toimenpide-ehdotuksia löytyi jonkin verran ja ne ovat samankaltaisia. Ratkaisevaa ehdotusten toteuttamisen kannalta on, kuinka pitkiä takaisinmaksuaikoja ollaan valmiita hyväksymään. Toisinaan, rakennuksen teknisten ratkaisujen aiheuttamien rajoitusten seurauksena, energiakorjaustoimenpiteet voivat osoittautua kannattamattomiksi. Tällöin joudutaan perustelemaan rakennuksen korjaustoimenpiteiden toteutus muilla keinoilla, mikäli hyöty on selkeästi havaittavissa. Muina perusteina voidaan pitää sisäilmasto-olosuhteiden ja ihmisten hyvinvointiin vaikuttavien tekijöiden parantumista. Julkisuuskuvalla eli imagolla katsottiin myös olevan vaikutusta energiakorjaustoimenpiteiden toteuttamiseen. Konkreettisten toimenpiteiden huomattiin vaikuttavan eniten käyttäjien asenteisiin energiansäästöä kohtaan.

Jatkotutkimustarvetta julkisten rakennusten osalta löytyy eri osa-alueilta. Tutkimukset energiakorjauksista ja energiansäästöpotentiaalista kohdistuvat usein pientaloihin ja kerrostaloihin. Muun rakennuskannan analysointi ja tutkimus on jäänyt vähemmälle huomiolle ja siksi sen rakennustyyppittäinen tutkiminen voisi olla mielenkiintoinen tutkimusaihe.

LÄHTEET

[1] Ympäristöministeriö. EU:n ilmasto- ja energiapaketti. [Viitattu 21.10.2011].

Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi#a7>

[2] Energiatehokkuus julkisissa hankinnoissa. Helsinki 2011, Työ- ja elinkeinoministeriö, Työ- ja elinkeinoministeriön ohjeet. 24 s. [Viitattu 23.8.2011] Saatavissa:

<http://www.tem.fi/files/30410/Energiatehokkuus.pdf>

[3] Sähkön hinnan kehitys. 2011. Energiamarkkinavirasto. [WWW]. [Viitattu 19.10.2011]. Saatavissa:

<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/data.asp?articleid=2674&pgid=67&languageid=246>

[4] Kaukolämmön hinnan kehitys. 2011. Tilastokeskus. [WWW]. [Viitattu 20.10.2011]. Saatavissa:

http://pxweb2.stat.fi/Dialog/varval.asp?ma=080_ehi_tau_108_fi&ti=Kaukol%E4mm%F6n+hinta+kuluttajatyypeitt%E4in&path=../Database/StatFin/ene/ehi/&lang=3&multilang=fi

[5] Ruokojoki, J. Kuntien omien rakennusten lämmön, sähkön ja veden kulutus v. 2009. 2011, Suomen Kuntaliitto. 55 s. Saatavissa:

<http://www.kunnat.net/fi/asiantuntijapalvelut/tyt/energia/energiansaasto/kulutustilastot/Docu-ments/Kuntien%20omien%20rakennusten%20lämmön,%20sähkön%20ja%20veden%20kulutus%20v.%202009.pdf>

[6] Seppänen, O. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Jyväskylä 2001, Suomen LVI-liitto ry. 444 s.

[7] Leskinen, Mia., Heljo, Juhani., Holopainen, Riikka. & Haakana, Maarit. Perusrakennusten energiavaikutukset julkisissa rakennuksissa. Helsinki 2001, LINKKI2 Energiasäästön päätöksenteon ja käyttäytyminen tutkimusohjelma. 65 s. + liit. 25 s.

[8] D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki 2007. Ympäristöministeriö. 72 s. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=241407&lan=fi>.

- [9] Seppänen, O. Ilmastointitekniikka ja sisäilmasto. 1996. LVI-kustannus Oy. 348 s.
- [10] Motiva. [WWW]. [Viitattu 20.11.2011] Saatavissa: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/energiankayton_tehostaminen/kiinteistojen_energianhallinta/kulutuksen_normitus
- [11] Motiva. [WWW]. [Viitattu 26.4.2011]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotietoa_katselmuksista/saastopotentiali_palvelusektorilla
- [12] Energianvändning i skolor. Eskilstuna 2007, Statens energimyndighet. 31 s. [Viitattu 20.12.2011] Saatavissa: <http://energimyndigheten.se/Global/Statistik/Förbättrad%20energistatistik/Energianvändning%20i%20skolor.pdf>
- [13] Enovas byggstatistikk 2008. Trondheim 2010:1, Enova rapport. 60 s. [Viitattu 20.12.2011] Saatavissa: <http://www.enova.no/publikasjonsoversikt/file.axd?ID=511&rand=945db3b6-4c3e-4e3f-8912-7be6c377f1ed>
- [14] Erhorn, Hans., Morck, Ove., Mroz, Tomasz. & Schmidt, Fritz. Retrofitting in Educational Buildings – Energy Concept Adviser for Technical Retrofit Measures. 2007, IEA. Technical Synthesis Report Annex 36. 43 s.
- [15] Bringing Retrofit Innovation to Application in Public Buildings – BRITA in PuBs. 2008. D19, 8 Reports on the Realisation and Validation Analysis of the Demonstration Buildings in BRITA in PuBs. 281 s. [Viitattu 22.2.2011]. Saatavissa: http://edit.brita-in-pubs.eu/fundanemt/files/BRITA_in_PuBs_D19_Final_demonstration_building_report_v1_19_08_08.pdf
- [16] Mysen, Mads., Berntsen, Sveinung., Nafstad, Per. & G.Schild, Peter. Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools. Energy and Buildings. 37 (2005), pp. 1234-1240.
- [17] Seppänen, O., Seppänen, M. Rakennusten sisäilmä ja LVI-tekniikka. 2. painos. Jyväskylä 1997, Gummerus Kirjapaino Oy. 279 s.
- [18] Haverila, Matti., Uusi-Rauva, Erkki., Kouri, Ilkka. & Miettinen, Asko. Teollisuustalous. 6.painos. Tampere 2009, Infacs johtamistekniikka. 510 s.
- [19] Suomen kaupunkiliitto. Kaupunkien omien rakennusten energiansäästön suunnitelu. 1981 Suomen kaupunkiliitto. 71 s.

- [20] LVI 05-10440. 2008. Sisäilmastoluokitus. Helsinki 2008, Rakennustietosäätiö RTS. 20 s.
- [21] Seppänen, O. Ilmastoinnin suunnittelu. 2004. Talotekniikka-Julkaisut Oy. 427 s.
- [22] Suomen Yliopistokiinteistöt Oy. Syklinki Lab. [Viitattu 7.12.2011]. Saatavissa: <http://www.sykoy.fi/fi/tulevaisuuden+kampukset/syklinki-living+lab/>
- [23] Kuusela, Leena., Pekkonen, Juhani. & Suomi, Ulla. Rakennusten sisäilmasto ja tarpeenmukainen ilmanvaihto. Espoo 1984, Teknillinen korkeakoulu LVI-laboratorio. Raportti. C;9. 85 s.
- [24] Hagner, Börje., Koski, Pertti., Reinikainen, Erja., Heikkilä, Pekka. & Hietaniemi, Janne. Energiakatselmoijan käsikirja – osa 2. 2011, Motiva.
- [25] Harju, P., Matilainen, V. LVI-tekniikka. Korjausrakentaminen. 2007, Suomen LVI-liitto SuLVI ry. 150 s.
- [26] LVI 19-10399. 2006. Lämmitä oikein, vesikeskuslämmitysjärjestelmän käyttäjän ohje. LVI-ohjetiedosto. Helsinki 2006, Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto. 11 s.
- [27] Säteri, J. Lämmitys 2000: Lämmitysjärjestelmien oikea käyttö ja kunnossapito. 1999, Suomen LVI-liitto ry. 96 s.
- [28] LVI 01-10260. 1996. LVIS- laitteiden kunnossapitojaksot. LVI-ohjetiedosto. Helsinki 1996, Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto. 4 s.
- [29] LVI 41-10230. 1994. Lämmitysverkoston säätö. LVI-ohjetiedosto. Helsinki 1994, Rakennustietosäätiö ja LVI-keskusliitto. 8 s.
- [30] Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. Motiva. [WWW]. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>
- [31] Motiva. [WWW]. [Viitattu 19.12.2011]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/lammitysverkoston_perussaato/perussaato_kerrostalossa
- [32] Luonnos ympäristöministeriön asetukseksi rakennusten energiatodistuksesta. Helsinki 2012. Ympäristöministeriö. 30 s. [WWW]. [Viitattu 12.6.2012]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=135933&lan=fi>